

Volumen 12 - Número 1

- 9** Diseño y Desarrollo de un Objeto Virtual de Aprendizaje para un Curso de Electrónica
Mónica Silva Quiceno y Piedad Chica Sosa
- 21** Análisis de la Productividad en la Construcción de Vivienda basada en Rendimientos de Mano de Obra
Adriana Gómez Cabrera y Diana Carolina Morales Bocanegra
- 32** Estrategias de Innovación Desarrolladas por los Centros de Investigación de las Universidades Públicas del Departamento de la Guajira, Colombia
Lorena Esther Gómez Bermúdez, Edilberto Rafael Santos Moreno y Martha Josefina Castrillón Rois
- 42** Estudio del Impacto del Cambio Climático en los Caudales de Entrada al Embalse del Río Frío
Mónica Tatiana Gómez Vargas
- 51** Consideraciones para el Rediseño de la Línea de Ensamble de Vehículos Aéreos No Tripulados desarrollados por la Fuerza Aérea Ecuatoriana
Ricardo Daniel Fiallos Castillo, John Paúl Reyes Vásquez, Paúl Homero Armas Ramírez y Mario Geovanny García Carrillo
- 65** Metodología para la medición de Parámetros de Sobretensiones transitorias en Redes de Distribución de 11.4 kV
Denis Amanda Acevedo Vásquez, Gloria Chacón Pedraza y Francisco Santamaría Piedrahíta
- 73** Análisis de la Seguridad en los Sistemas de e-Gobierno mediante el Problema SAT
Mónica Marlene Baquerizo Anastacio y César Byron Guevara Maldonado
- 80** Diseño de un Equipo de Pruebas Rápidas para Aceites Usados
Juan Carlos Delgado Sanabria, Simón de Jesús Figueroa Salgado y Soren Einstein Sierra López
- 86** Revisión de la Seguridad en la Implementación de Servicios sobre IPv6
Raúl Bareño Gutiérrez, William Navarro Núñez, Sonia Cárdenas Urrea, Hugo Sarmiento Osorio y Nixon Duarte Acosta
- 94** Relación entre los Ensayos Ultrasónico y Convencional para determinar la Resistencia del Concreto Simple a la Compresión
Jorge Enrique Cruz Benedetti, Luisa Martínez Acosta, Álvaro López Ramos, Jaime Andrés Lakab Durango y Claudia Ceballos Díaz
- 99** Plataformas y Herramientas Educativas como parte del PLE del Docente. Caso Asistente Digital para Planeación Curricular ConTIC
Mónica María Rojas Rincón, Gustavo Alberto Moreno López y Claudia Alejandra Rosero Noguera
- 107** Análisis de Factores que Afectan la Caracterización de las Propiedades del Carbón
Natalia Cifuentes Baquero, Diana Carolina Franco Sánchez y Andrés Meleg Ruttkay





Barranquilla-Colombia / vol.12 no.1 / Enero - Junio de 2016

ISSN 0122-6517 / e-ISSN 2382-4700

INGE CUC esta admitida en las bases de datos de Pubindex , Academic Search (EBSCO), Georef, Periodica y los directorios y repositorios de Dialnet, Latindex, REDIB, Google Scholar and Ulrich's web.

Periodicidad: Semestral

La revista INGE CUC es una publicación de la Universidad de la Costa - CUC, que tiene por finalidad divulgar los resultados originales de los procesos de investigación, reflexión y revisión desarrollados por la comunidad científica a nivel nacional e internacional en las diferentes áreas de desempeño de la ingeniería.

COMITÉ EDITORIAL

JAIRO RAFAEL MONTOYA-TORRES, Ph.D.

Universidad de la Sabana - Colombia
jairo.montoya@unisabana.edu.co

JOHN E. ZAPATA-RIVERA, Ph.D.

Universidad de la Costa - Colombia
jzapata8@cuc.edu.co

ELYN L. SOLANO CHARRIS, Ph.D.

Universidad de la Sabana - Colombia
erlyn.solano@unisabana.edu.co

LUIS CARLOS ARRAUT CAMARGO, Ph.D.

Universidad Tecnológica de Bolívar - Colombia
larrau@unitecnologica.edu.co

FERNANDO A. CRESPO ROMERO, Ph.D.

Universidad Bernardo O'Higgins - Chile
facrespo@gmail.com

COMITÉ CIENTIFICO

RAFAEL GARCÍA GÓMEZ, Ph.D.

Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano - Colombia
rgarcia@poligran.edu.co

PEDRO GUIDO ALDANA, Ph.D.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA - México
guido.pedro@gmail.com

SILVIA MARGARITA BALDIRIS, Ph.D.

Universidad de Girona - España
silvia_margarita_baldiris_navarro@hotmail.com

EDUARDO MIGUEL DE LA HOZ CORREA, Ph.D.

Universidad de la Costa - Colombia
edelahoz6@cuc.edu.co

MIGUEL A. JALLER MARTELO, Ph.D.

University of California - Estados Unidos
mjaller@ucdavis.edu

DIEGO PAREDES CUERVO, Ph.D.

Universidad Tecnológica de Pereira - Colombia
diparedes@utp.edu.co

FRANKLIN TORRES BEJARANO, Ph.D.

Instituto Mexicano de Petróleo - México
fntorres@imp.mx

ANTONIO FAUSTINO MUÑOZ, Ph.D.

Universidad Autónoma de Bucaramanga - Colombia
faustino.muñoz13@gmail.com

RAFAEL ALEJANDRO ESPÍN ANDRADE, Ph.D.

Universidad de Occidente - Campus Culiacán - México
rafaelalejandroespinandrade@gmail.com

YEZID ENRIQUE DONOSO MEISEL, Ph.D.

Universidad de los Andes - Colombia
ydonoso@uniandes.edu.co

EDITOR

LAUREN J. CASTRO BOLAÑO

Universidad de la Costa - Colombia
revistaingecuc@cuc.edu.co

COORDINADOR EDITORIAL

ALFONSO R. ROMERO CONRADO

Universidad de la Costa - Colombia
aromero17@cuc.edu.co

EDITORES INVITADOS

JUAN JOSÉ CABELLO ERAS

Universidad de la Costa - Colombia
jcabello2@cuc.edu.co

FERNANDO A. CRESPO ROMERO

Universidad Bernardo O'Higgins - Chile
facrespo@gmail.com



Barranquilla-Colombia / vol.12 issue.1 / January - June, 2016

ISSN 0122-6517 / e-ISSN 2382-4700

INGE CUC is admitted in databases as Publindex , Academic Search (EBSCO), Georef, Periodica and directories and repositories as Dialnet, Latindex, REDIB, Google Scholar and Ulrich's web.

Periodicity: Biannual

INGE CUC Journal is a scholarly publication from Universidad de la Costa – CUC intended to divulge national and international original research findings, and reflection and review papers related to the different areas of Engineering as discipline.

EDITORIAL COMMITTEE

JAIRO RAFAEL MONTOYA-TORRES, Ph.D.

Universidad de la Sabana - Colombia
jairo.montoya@unisabana.edu.co

JOHN E. ZAPATA-RIVERA, Ph.D.

Universidad de la Costa - Colombia
jzapata8@cuc.edu.co

ELYN L. SOLANO CHARRIS, Ph.D.

Universidad de la Sabana – Colombia
erlyn.solano@unisabana.edu.co

LUIS CARLOS ARRAUT CAMARGO, Ph.D.

Universidad Tecnológica de Bolívar - Colombia
larrau@unitecnologica.edu.co

FERNANDO A. CRESPO ROMERO, Ph.D.

Universidad Bernardo O'Higgins - Chile
facrespo@gmail.com

SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE

RAFAEL GARCÍA GÓMEZ, Ph.D.

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano - Colombia
rgarcia@poligran.edu.co

PEDRO GUIDO ALDANA, Ph.D.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA - México
guido.pedro@gmail.com

SILVIA MARGARITA BALDIRIS, Ph.D.

Universidad de Girona - España
silvia_margarita_baldiris_navarro@hotmail.com

EDUARDO MIGUEL DE LA HOZ CORREA, Ph.D.

Universidad de la Costa - Colombia
edelahoz6@cuc.edu.co

MIGUEL A. JALLER MARTELO, Ph.D.

University of California - Estados Unidos
mjaller@ucdavis.edu

DIEGO PAREDES CUERVO, Ph.D.

Universidad Tecnológica de Pereira - Colombia
diparedes@utp.edu.co

FRANKLIN TORRES BEJARANO, Ph.D.

Instituto Mexicano de Petróleo - México
fntorres@imp.mx

ANTONIO FAUSTINO MUÑOZ, Ph.D.

Universidad Autónoma de Bucaramanga - Colombia
faustino.muñoz13@gmail.com

RAFAEL ALEJANDRO ESPÍN ANDRADE, Ph.D.

Universidad de Occidente - Campus Culiacán- México
rafaelalejandrosandinandrade@gmail.com

YEZID ENRIQUE DONOSO MEISEL, Ph.D.

Universidad de los Andes - Colombia
ydonoso@uniandes.edu.co

EDITOR-IN-CHIEF

LAUREN J. CASTRO BOLAÑO

Universidad de la Costa - Colombia
revistaingecuc@cuc.edu.co

EDITORIAL COORDINATOR

ALFONSO R. ROMERO CONRADO

Universidad de la Costa - Colombia
aromero17@cuc.edu.co

GUEST EDITORS

JUAN JOSÉ CABELLO ERAS

Universidad de la Costa - Colombia
jcabello2@cuc.edu.co

FERNANDO A. CRESPO ROMERO

Universidad Bernardo O'Higgins - Chile
facrespo@gmail.com

UNIVERSITY COURT

TITO JOSÉ CRISSIEN BORRERO
Rector

GLORIA MORENO GÓMEZ
Vice-Rector for Academic Affairs

HENRY MAURY ARDILA
Vice-Rector for Research

JAIME DIAZ ARENAS
Vice-Rector for Administrative Affairs

HERNANDO ANTEQUERA MANOTAS
Vice-Rector for Financial Affairs

ROSMERY TURBAY MIRANDA
Vice-Rector for Welfare Affairs

JORGE MORENO GOMÉZ
Vice-Rector for Extension Programs

FAIRUZ OSPINO VALDIRIZ
Dean of Engineering

NADIA JUDITH OLAYA CORONADO
Dean of Environmental Sciences

FOUNDING MEMBERS

EDUARDO CRISSIEN SAMPER
RUBEN MAURY PERTUZ (R.I.P)
NULVIA BORRERO DE CRISSIEN
MARÍA ARDILA DE MAURY
RAMIRO MORENO NORIEGA
RODRIGO NIEBLES DE LA CRUZ (R.I.P)
MIGUEL ANTEQUERA STAND

EDUCOSTA Publishing House
Editorial Universitaria de la Costa, CUC

Executive Editor
ALFONSO RAFAEL ROMERO CONRADO
aromero17@cuc.edu.co

Design of Cover
DOLORES LÓPEZ

Editorial Design
DOLORES LÓPEZ

Spanish Copyediting
CLAUDIA VINUEZA RIVEROS

English Translation
CLAUDIA VINUEZA RIVEROS

Printed by:
Yoyobiz Creativos – Barranquilla

Exchange: Institutional Library
Universidad de la Costa
MARÍA GÓMEZ DE MAURY
mgomez@cuc.edu.co

Editorial Website
www.cuc.edu.co

Postal Address:
Editorial Educosta
Universidad de la Costa, CUC
Calle 58 No. 55-66.
Barranquilla, Colombia, Sur América
Tel: + 57 (5) 3362224

www.ingecuc.com
Journal's e-mail address:
revistaingecuc@cuc.edu.co
[http://revistascientificas.cuc.edu.co/
index.php/ingecuc/index](http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/index)

Printing Date: June, 2016

Papers published in this Journal are responsibility of the authors; the University and the Journal are not to be compromised for the work.

MISSION

INGE CUC, as a relevant scholarly and research scientific journal in Colombia and Latin America, has the mission of issuing high-quality and novel scientific information regarding Engineering with the intention of democratizing knowledge. This duty is accomplished through responsibility and always seeking the academic, scientific, and research excellence our audience deserves.

VISION

Become renown amidst the national and international scientific community for its scholarly and research relevance and pertinence concerning applied engineering, among other areas, as a consequence of belonging to the most important scientific bibliographic databases.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License.

PERSONAL DIRECTIVO

TITO JOSÉ CRISSIEN BORRERO
Rector

GLORIA MORENO GÓMEZ
Vicerrector Académico

HENRY MAURY ARDILA
Vicerrector de Investigaciones

JAIME DIAZ ARENAS
Vicerrector Administrativo

HERNANDO ANTEQUERA MANOTAS
Vicerrector Financiero

ROSMERY TURBAY MIRANDA
Vicerrectora de Bienestar

JORGE MORENO GOMÉZ
Vicerrector de Extensión

FAIRUZ OSPINO VALDIRIZ
Decana Facultad de Ingeniería

NADIA JUDITH OLAYA CORONADO
Decana Facultad de Ciencias Ambientales

FUNDADORES

EDUARDO CRISSIEN SAMPER
RUBEN MAURY PERTUZ (R.I.P)
NULVIA BORRERO DE CRISSIEN
MARÍA ARDILA DE MAURY
RAMIRO MORENO NORIEGA
RODRIGO NIEBLES DE LA CRUZ (R.I.P)
MIGUEL ANTEQUERA STAND

Editorial EDUCOSTA
Editorial Universitaria de la Costa, CUC

Coordinación Editorial
ALFONSO RAFAEL ROMERO CONRADO
aromero17@cuc.edu.co

Diseño de Carátula
DOLORES LÓPEZ

Diseño Editorial
DOLORES LÓPEZ

Corrección de estilo en español
CLAUDIA VINUEZA RIVEROS

Traducción al inglés
CLAUDIA VINUEZA RIVEROS

Impreso por:
Yoyobiz Creativos – Barranquilla

Canje: Biblioteca Institucional
Universidad de la Costa
MARÍA GÓMEZ DE MAURY
mgomez@cuc.edu.co

Página Web de la Institución Editora
www.cuc.edu.co

Dirección Postal:
Editorial Educosta
Universidad de la Costa, CUC
Calle 58 No. 55-66.
Barranquilla, Colombia, Sur América
Tel: + 57 (5) 3362224

www.ingecuc.com
Correo electrónico de la revista:
revistaingecuc@cuc.edu.co
[http://revistascientificas.cuc.edu.co/
index.php/ingecuc/index](http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/index)

Fecha de Impresión: Junio de 2016

Los artículos publicados en esta revista son responsabilidad de sus autores y no comprometen ni a la institución ni a la revista.

MISIÓN

INGE CUC, como revista científica de relevancia académica e investigativa en Colombia y Latinoamérica, tiene como misión divulgar el nuevo conocimiento científico de alta calidad en ingeniería, con el fin de democratizar el conocimiento, con un alto sentido de responsabilidad, en la búsqueda permanente de excelencia académica, científica e investigativa, que merece la comunidad científica objeto de esta publicación.

VISIÓN

Ser reconocida por la comunidad científica, nacional e internacional, como una publicación de relevancia y pertinencia investigativa y académica, en el énfasis de la ingeniería aplicada, entre otras, por formar parte de las bases bibliográficas más reconocidas del mundo científico.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Unported License.

Contenido

Volumen 12 - Número 1, Enero - Junio 2016

- 1** Diseño y Desarrollo de un Objeto Virtual de Aprendizaje para un Curso de Electrónica **9**
Mónica Silva Quiceno y Piedad Chica Sosa
- 2** Análisis de la Productividad en la Construcción de Vivienda basada en Rendimientos de Mano de Obra **21**
Adriana Gómez Cabrera y Diana Carolina Morales Bocanegra
- 3** Estrategias de Innovación Desarrolladas por los Centros de Investigación de las Universidades Públicas del Departamento de la Guajira, Colombia **32**
Lorena Esther Gómez Bermúdez, Edilberto Rafael Santos Moreno y Martha Josefina Castrillón Rois
- 4** Estudio del Impacto del Cambio Climático en los Caudales de Entrada al Embalse del Río Frío **42**
Mónica Tatiana Gómez Vargas
- 5** Consideraciones para el Rediseño de la Línea de Ensamble de Vehículos Aéreos No Tripulados desarrollados por la Fuerza Aérea Ecuatoriana **51**
Ricardo Daniel Fiallos Castillo, John Paúl Reyes Vásquez, Paúl Homero Armas Ramírez y Mario Geonanny García Carrillo
- 6** Metodología para la medición de Parámetros de Sobretensiones transitorias en Redes de Distribución de 11.4 kV **65**
Denis Amanda Acevedo Vásquez, Gloria Chacón Pedraza y Francisco Santamaría Piedrabita
- 7** Análisis de la Seguridad en los Sistemas de e-Gobierno mediante el Problema SAT **73**
Mónica Marlene Baquerizo Anastacio y César Byron Guevara Maldonado
- 8** Diseño de un Equipo de Pruebas Rápidas para Aceites Usados **80**
Juan Carlos Delgado Sanabria, Simón de Jesús Fygueroa Salgado y Soren Einstein Sierra López
- 9** Revisión de la Seguridad en la Implementación de Servicios sobre IPv6 **86**
Raúl Bareño Gutiérrez, William Navarro Núñez, Sonia Cárdenas Urrea, Hugo Sarmiento Osorio y Nixon Duarte Acosta
- 10** Relación entre los Ensayos Ultrasonico y Convencional para determinar la Resistencia del Concreto Simple a la Compresión **94**
Jorge Enrique Cruz Benedetti, Luisa Martínez Acosta, Álvaro López Ramos, Jaime Andrés Lakah Durango y Claudia Ceballos Díaz
- 11** Plataformas y Herramientas Educativas como parte del PLE del Docente. Caso Asistente Digital para Planeación Curricular ConTIC **99**
Mónica María Rojas Rincón, Gustavo Alberto Moreno López y Claudia Alejandra Rosero Noguera
- 12** Análisis de Factores que Afectan la Caracterización de las Propiedades del Carbón **107**
Natalia Cifuentes Baquero, Diana Carolina Franco Sánchez y Andrés Meleg Ruttkay

Content

Volume 12 - Issue 1, January - June 2016

- 1** *Design and Development of a Learning Object for an Electronics Course* **9**
Mónica Silva Quiceno y Piedad Chica Sosa
- 2** *Analysis of Productivity in Housing Construction Based on Labor Performance* **21**
Adriana Gómez Cabrera y Diana Carolina Morales Bocanegra
- 3** *Innovation Strategies Developed by Research Centers in Public Universities of the Department of La Guajira, Colombia* **32**
Lorena Esther Gómez Bermúdez, Edilberto Rafael Santos Moreno y Martha Josefina Castrillón Rois
- 4** *Impact of Climate Change on the Input Flow of the Frio River Reservoir* **42**
Mónica Tatiana Gómez Vargas
- 5** *Considerations of the Redesign for the Assembly Line of Unmanned Aircraft Vehicles Developed by the Ecuadorian Air Force* **51**
Ricardo Daniel Fiallos Castillo, John Paúl Reyes Vásquez, Paúl Homero Armas Ramírez y Mario Geovanny García Carrillo
- 6** *Methodology for Measuring Transient Overvoltage Parameters in 11.4 kV Distribution Networks* **65**
Denis Amanda Acevedo Vásquez, Gloria Chacón Pedraza y Francisco Santamaría Piedrabita
- 7** *Security Analysis of e-Government Systems Using SAT problem* **73**
Mónica Marlene Baquerizo Anastacio y César Byron Guevara Maldonado
- 8** *Design of a Used Oil Rapid Tests Kit* **80**
Juan Carlos Delgado Sanabria, Simón de Jesús Fygueroa Salgado y Soren Einstein Sierra López
- 9** *Safety Review in Implementing Services Over IPv6* **86**
Raúl Bareño Gutiérrez, William Navarro Niñez, Sonia Cárdenas Urrea, Hugo Sarmiento Osorio y Nixon Duarte Acosta
- 10** *Correlation between Ultrasonic and Conventional Tests in Order to Determinate the Compression Strength of Plain Concrete* **94**
Jorge Enrique Cruz Benedetti, Luisa Martínez Acosta, Álvaro López Ramos, Jaime Andrés Lakab Durango y Claudia Ceballos Díaz
- 11** *Platforms and educational tools as part of PLE of teacher. Case for planning digital assistant curriculum CoñTIC* **99**
Mónica María Rojas Rincón, Gustavo Alberto Moreno López y Claudia Alejandra Rosero Noguera
- 12** *Analysis of Influential Factors in Coal Properties Characterization* **107**
Natalia Cifuentes Baquero, Diana Carolina Franco Sánchez y Andrés Meleg Ruttkay

Indice de Autores

		Pagina
A		
Acevedo Vásquez, Denis Amanda	Vol. 12 - No. 1	65
Armas Ramírez, Paúl Homero	Vol. 12 - No. 1	51
B		
Baquerizo Anastacio, Mónica Marlene	Vol. 12 - No. 1	73
Bareño Gutiérrez, Raúl	Vol. 12 - No. 1	86
C		
Cárdenas Urrea, Sonia	Vol. 12 - No. 1	86
Castrillón Rois, Martha Josefina	Vol. 12 - No. 1	32
Ceballos Díaz, Claudia	Vol. 12 - No. 1	94
Chacón Pedraza, Gloria	Vol. 12 - No. 1	65
Chica Sosa, Piedad	Vol. 12 - No. 1	9
Cifuentes Baquero, Natalia	Vol. 12 - No. 1	107
Cruz Benedetti, Jorge Enrique	Vol. 12 - No. 1	94
D		
Delgado Sanabria, Juan Carlos	Vol. 12 - No. 1	80
Duarte Acosta, Nixon	Vol. 12 - No. 1	86
F		
Fiallos Castillo, Ricardo Daniel	Vol. 12 - No. 1	51
Franco Sánchez, Diana Carolina	Vol. 12 - No. 1	107
Figueroa Salgado, Simón de Jesús	Vol. 12 - No. 1	80
G		
García Carrillo, Mario Geovanny	Vol. 12 - No. 1	51
Gómez Bermúdez, Lorena Esther	Vol. 12 - No. 1	32
Gómez Cabrera, Adriana	Vol. 12 - No. 1	21
Gómez Vargas, Mónica Tatiana	Vol. 12 - No. 1	42
Guevara Maldonado, César Byron	Vol. 12 - No. 1	73
L		
Lakah Durango, Jaime Andrés	Vol. 12 - No. 1	94
López Ramos, Álvaro	Vol. 12 - No. 1	94
M		
Martínez Acosta, Luisa	Vol. 12 - No. 1	94
Meleg Ruttkay, Andrés	Vol. 12 - No. 1	107
Morales Bocanegra, Diana Carolina	Vol. 12 - No. 1	21
Moreno López, Gustavo Alberto	Vol. 12 - No. 1	99
N		
Navarro Núñez, William	Vol. 12 - No. 1	86
R		
Reyes Vásquez, John Paúl	Vol. 12 - No. 1	51
Rojas Rincón, Mónica María	Vol. 12 - No. 1	99
Rosero Noguera, Claudia Alejandra	Vol. 12 - No. 1	99
S		
Santamaría Piedrahita, Francisco	Vol. 12 - No. 1	65
Santos Moreno, Edilberto Rafael	Vol. 12 - No. 1	32
Sarmiento Osorio, Hugo	Vol. 12 - No. 1	86
Sierra López, Soren Einstein	Vol. 12 - No. 1	80
Silva Quiceno, Mónica	Vol. 12 - No. 1	9

Diseño y Desarrollo de un Objeto Virtual de Aprendizaje para un Curso de Electrónica*

Design and Development of a Learning Object for an Electronics Course

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.01>

Artículo de Investigación científica - Fecha de recepción: 06 de mayo de 2015 - Fecha de aceptación: 23 de noviembre de 2015.

Mónica Silva Quiceno

Magíster en Tecnología Educativa y Medios Innovadores para la Educación.
Universidad Cooperativa de Colombia. Villavicencio (Colombia). monica.silva@campusucc.edu.co

Piedad Chica Sosa

Especialista en Ingeniería de Software. Universidad Cooperativa de Colombia. Villavicencio (Colombia).
piedad.chica@campusucc.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

M. Silva Quiceno y P. Chica Sosa, "Diseño y desarrollo de un Objeto Virtual de Aprendizaje para un curso de Electrónica", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 9-20, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.01>

Resumen-- Este artículo presenta el diseño y desarrollo de un Objeto Virtual de Aprendizaje - OVA. El objetivo es lograr una herramienta computacional para facilitar la comprensión de los temas y permitir el acompañamiento durante el tiempo de trabajo independiente de los estudiantes del curso de Electrónica Básica del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia. Se utilizó la metodología de Material Educativo Computarizado-MEC de Galvis Panqueva que contempla las fases de análisis, diseño, desarrollo, evaluación e implantación. Los componentes pedagógicos se analizaron mediante la identificación de estilos de aprendizaje empleando el formato de encuesta de Felder y Silverman. Como resultado se obtuvo un OVA que permite el ingreso de tres tipos de usuario, definiendo para cada uno de ellos un rol específico y controlado mediante el inicio de sesión que habilita o deshabilita las opciones correspondientes a cada rol, contribuyendo al cumplimiento de las competencias del curso.

Palabras claves-- Acompañamiento; estilos de aprendizaje; material educativo computarizado; objeto virtual de aprendizaje; rol.

Abstract-- This paper presents the design and development of a Virtual Learning Object. The aim is to achieve a computational teaching tool that facilitates the understanding of the course topics and allows the assistance of students during their independent study hours of the Basic Electronics course offered by the Computer Science program at the Universidad Cooperativa de Colombia. To develop this tool, the MEC (Computerized Educational Material) methodology proposed by Galvis Panqueva was used; this method includes the phases of analysis, design, development, testing and deployment. Pedagogical components were analyzed by identifying learning styles; for this, a survey of the Felder and Silverman type was conducted to a group of students. The Virtual Learning Object permits three types of user, for whom specific roles were defined and controlled by login features that enable or disable the options for each role, contributing to fulfill the tasks of the course.

Keywords-- Assistance; Computerized Educational Material; Virtual Learning Object; Learning Styles; Role.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado: "Diseño y desarrollo de un Objeto Virtual de Aprendizaje para el curso de electrónica". Financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones de la Universidad Cooperativa de Colombia. Fecha de inicio: julio de 2011. Fecha de finalización: octubre 2013.



I. INTRODUCCIÓN

Este artículo es producto de la realización de un proyecto para el curso de Electrónica Básica del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio. Se tomaron como objeto de estudio a sus estudiantes y las actividades que se realizan en este curso para su aprobación y el cumplimiento de competencias. El proyecto se basa en la creación de un OVA que mejore la accesibilidad a los conocimientos por parte de los estudiantes, buscando que mediante estrategias de aprendizaje diferentes a la clase magistral, laboratorios o talleres, el estudiante pueda adquirir las competencias descritas en los programas del curso.

El punto de partida para el diseño del OVA es el resultado de estudios realizados en neurofisiología y psicología que muestran un nuevo enfoque sobre cómo los seres humanos aprenden y donde se pone en evidencia que no existe una sola forma de aprender, cada persona tiene una forma o estilo particular con la cual establece una relación con el mundo y, por lo tanto, para aprender [1]-[2]. Por esta razón, la implementación del OVA para el curso de Electrónica Básica busca ser esa estrategia de aprendizaje que cautive y facilite el entendimiento de los temas impartidos en el curso.

Actualmente, las estrategias utilizadas para el desarrollo del curso no se apartan de la clase magistral, es decir, se hace uso del tablero y escasamente recurren a prácticas en el laboratorio; asimismo, para valorar los conocimientos aprendidos se recurre a métodos tradicionales de evaluación, que en ocasiones generan apatía por parte de los estudiantes y los aleja de la posibilidad de obtener buenos resultados.

Por su parte, los OVA facilitan la interacción del estudiante con las temáticas del curso [3]. Su diseño e implementación busca motivar a los estudiantes al uso de las plataformas institucionales, a ser autodidactas y a medirse a través del uso la autoevaluación, permitiendo validar los conocimientos adquiridos y brindado una opción para el buen uso del tiempo libre.

II. REVISIÓN LITERARIA

Esta investigación responde a teorías relacionadas con los estilos de aprendizaje, el concepto de OVA y los enfoques y modelos pedagógicos pertinentes para el diseño de un OVA desde el punto de vista de los modelos que benefician la formación virtual, como el aprendizaje autónomo y el aprendizaje significativo [4]-[5]. Se hace una revisión literaria con el fin de presentar los conceptos relacionados con la aplicación de tecnologías en la educación y los trabajos realizados en esta área, así como el rol del docente en el uso de las tecnologías.

A. Definición de TIC

La ley 1341 de 2009 de la República de Colombia define principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y crea la Agencia Nacional del Espectro. Define las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, como el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento y transmisión de información, como: voz, datos, texto, video e imágenes [6].

Otra definición formal de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el contexto colombiano es: “[l]as Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, TIC, pueden definirse como el conjunto de instrumentos, herramientas o medios de comunicación, como la telefonía, los computadores, el correo electrónico y la Internet, que permiten comunicarse entre sí a las personas u organizaciones” [7].

B. Las TIC en la educación

En el contexto actual, las instituciones de educación se enfrentan a cambios planteados por la nueva sociedad de la información y el lugar que tienen en el conjunto del sistema de enseñanza, esto les implica involucrarse en procesos de calidad y ampliación de cobertura, considerando el uso de tecnología en la educación [8]-[9].

En términos generales, las principales funciones de las TIC en la educación están asociadas a las posibilidades de usarlas en este entorno como medio de expresión para generar documentos electrónicos, presentaciones, videos, imágenes [10].

Hay que tener claro que no basta con utilizar las TIC, se debe analizar si su incorporación realmente está produciendo un correcto aprendizaje. Este es uno de los elementos de la docencia que más preocupa a los profesores pues necesitan encontrar la forma de evaluar el aprendizaje que se ha producido gracias a la incorporación de las TIC. Los profesores no quieren un entorno tecnológico sino un servicio de apoyo en la universidad que en cualquier momento ayude a resolver problemas o mejorar el trabajo [11].

Múltiples trabajos ponen en evidencia esta realidad en el actual sistema de educación. El uso de tecnologías en la educación puede tener la finalidad de desarrollar las capacidades cognitivas del individuo; puede también tener el enfoque del trabajo colaborativo y en red para el desarrollo de la participación y de la ciudadanía, tal como se menciona en el libro del desafío de las TIC para el cambio educativo [12].

El trabajo “Análisis de las estrategias de enseñanza con tecnologías de la información, ¿un nuevo contexto metodológico de secundaria?”, busca pro-

fundizar en la relación que se va configurando entre la metodología didáctica existente en los centros de enseñanza secundaria y la utilización de las TIC [13].

El trabajo realizado por Washington Antonio Cevallos Gamboa, docente de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil, Ecuador, “Desarrollo de un marco referencial para la implantación, transferencia y evaluación de las TIC en las universidades”, logró poner en evidencia que no todas las instituciones de educación superior introducirán cambios institucionales mediatos para incursionar en las TIC. Las universidades en el país están dando pasos hacia la integración de las TIC, pero es necesario entender que éstos deben ir más rápido a pesar de la complejidad que esto pueda representar, si no de nada servirá entrar en el reto [14].

Otros autores como Salinas, plantea “modelos flexibles” como respuesta de las universidades a la sociedad de la información, argumenta la necesidad de adoptar modelos flexibles de enseñanza-aprendizaje y expone la necesidad de incorporar las TIC en la educación superior como respuesta de las instituciones de educación superior a los cambios de la sociedad actual [15].

Así mismo, Camargo, con el trabajo denominado “Incorporación de las TIC en el aula de matemáticas en la básica primaria del centro educativo Minas de Ircal, sede la Honda” tiene como objetivo promover el uso de las herramientas tecnológicas y materiales lúdicos en el proceso de enseñanza - aprendizaje de las matemáticas optimizando el rendimiento académico. El autor considera que con estas herramientas se atrae a los estudiantes a un entorno dinámico y más llamativo que permitirá disminuir los prejuicios que se tienen sobre la aparente dificultad de las matemáticas [16].

Por otra parte, el trabajo de incorporación de entornos tecnológicos de aprendizaje a la cultura escolar, proyecto de innovación educativa en matemáticas y ciencias en escuelas secundarias públicas de México, muestra una forma de enseñanza de la física y las matemáticas con tecnología. Este trabajo hoy sirve de referencia para el programa de reforma educativa en el sistema de educación secundaria en México [17].

La importancia adquirida por las TIC, y todo lo que su uso ha generado en el ámbito académico, ha hecho que profesores y estudiantes se vean obligados a asimilar gran cantidad de conocimiento en poco tiempo y a ritmos acelerados, de ahí surge la importancia de que las TIC sean incorporadas en los procesos de enseñanza - aprendizaje de cualquier programa de educación, pues éstas han permitido la evolución del proceso educativo y han contribuido en la forma en cómo el estudiante asimila contenidos y los usa para comprender y analizar situaciones de su entorno [18].

C. Herramientas tecnológicas en la educación

Las generaciones que proceden de los nuevos sistemas educativos y de una cultura audiovisual y tecnológica manifiestan nuevas formas de adquirir el conocimiento y, por tanto, de aprender. Cada vez resulta más difícil encontrar acciones formativas que no estén apoyadas en diferentes medios tecnológicos [19].

El uso de herramientas tecnológicas en ambientes académicos es más común cada día y los docentes descubren los beneficios de involucrarlos como apoyo a sus clases presenciales, sin embargo, en ocasiones la calidad de los materiales es pobre o el aprendizaje en entornos virtuales deriva demasiado trabajo para el docente [20]. No obstante, esto se puede evitar si se hace una evaluación seria de las herramientas tecnológicas empleadas y se establece una pauta para su uso y aplicación.

Dentro del esfuerzo de la comunidad académica, usar herramientas de carácter tecnológico ha sido una actividad permanente; el avance progresivo de las tecnologías habilita nuevas herramientas que pueden ser exploradas y usadas en escenarios de aprendizaje [21]. Por esta razón es necesario realizar una evaluación que identifique en qué casos es favorable su uso y cuáles son las indicadas en cada caso.

Se debe tener muy claro que el uso de las herramientas tecnológicas no puede relegar ni alterar el puesto que ocupan las instituciones dentro de la formación del estudiante, pues ellas son el pilar fundamental de los procesos académicos, tampoco se puede pretender que se usen indiscriminadamente sin tener en cuenta su adecuación didáctica.

D. Rol del profesor

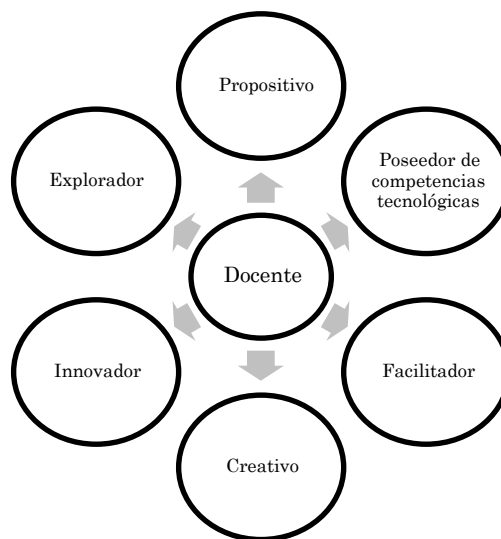


Fig. 1 . Características del docente.
Fuente: Autores

El rol del profesor actual debe responder de forma eficaz a los cambios y a las exigencias del entorno, modificando en cierta parte la forma cómo lleva a cabo el proceso de enseñanza - aprendizaje [22]. Por esto es necesario que el profesor asuma un rol más activo, propositivo y tenga un manejo básico de la tecnología, y que adicionalmente posea ciertas características que faciliten su trabajo con este tipo de herramientas en el aula, algunas de ellas se pueden observar en la Fig. 1.

El profesor puede participar en la formación de entornos de aprendizaje más participativos, flexibles y multidireccionales, ya que la información con el uso de herramientas tecnológicas se puede dar en ambos sentidos, resaltando que éstas son atractivas y permiten el acceso a múltiples entornos de aprendizaje, la personalización de los procesos de aprendizaje, una mayor flexibilidad en los estudios, la cercanía al docente, un mayor número de instrumentos para el proceso educativo, el compañerismo y la colaboración.

Dentro de las investigaciones relacionadas con esta temática se encuentran variedad de estudios con buenos resultados, de diferentes países y autores, que sirvieron para sustentar esta investigación. Trabajos como "Implicaciones pedagógicas y actitud del docente ante el uso de las TIC en el aula de ELE", analizan la situación educativa actual con respecto a la integración de las tecnologías y las transformaciones pedagógicas consecuentes dentro del ámbito de la enseñanza de segundas lenguas y de ELE [23]. Teniendo en cuenta la evidente necesidad del uso de estas herramientas en los nuevos modelos de enseñanza, se plantea la posición del docente y su concienciación ante estos recursos.

El uso que se hace de las TIC en la docencia universitaria produce un mayor acercamiento a la profesión para la cual se le capacita, lo que permite la adquisición de competencias profesionales, además, se puede obtener una mayor atención personalizada y supervisión continua por parte de los profesores y se potencian competencias transversales de autonomía, responsabilidad, estudio continuado, aprendizaje colaborativo, etc. [24].

También, se observa cómo los profesores se capacitan utilizando estos recursos, trabajos como "Una manera de integrar las herramientas tecnológicas en la formación de los maestros" muestran cómo la innovación en la didáctica puede tener un impacto en el aprendizaje de estudiantes de Magisterio que cursan la asignatura *Organización del centro escolar*, donde a través de un entorno didáctico apoyado en herramientas tecnológicas se logra optimizar el aprendizaje, notando resultados positivos al finalizar el curso, pues hubo un aumento en la notas con respecto al curso anterior y una valoración positiva por parte de los estudiantes [25].

E. Entornos Virtuales de Aprendizaje y Objetos Virtuales de Aprendizaje

Los términos de referencia presentes en el desarrollo del proyecto y de la investigación hacen relación a la didáctica, el currículo educativo, el aprendizaje, el aprendizaje autónomo, el aprendizaje cooperativo y el aprendizaje significativo.

La *didáctica* hace referencia al conjunto de principios, criterios, normas, recursos y técnicas educativas propuestas con el fin de asegurar a los educadores los medios de una actuación segura, económica y eficaz sobre los aprendices [26].

El *aprendizaje* hace referencia al cambio más o menos permanente de conducta que se produce como resultado de la práctica [27].

El *currículo educativo* es una estructura que organiza la forma de construir un proceso educativo, para ello se centra en un propósito: ¿para qué enseñar?; una secuencia: ¿cuándo enseñarlo?; los recursos: ¿con qué enseñarlo?; el contenido: ¿qué enseñar?; una metodología: ¿cómo enseñarlo?; y evaluación: ¿se cumplió? [28].

Un *Entorno Virtual de Aprendizaje* se define como una plataforma tecnológica que trata de reproducir las condiciones y recursos educativos de una clase presencial y proporciona a profesores y estudiantes las facilidades para la comunicación y la interacción, venciendo de esta manera la necesidad de los actores implicados en el proceso de enseñanza - aprendizaje de coincidir temporal y geográficamente [29].

Es necesario generar, tanto desde el sector público como del privado, políticas para que la utilización de las tecnologías promueva una mejora en la calidad de la educación y amplíe la gama de oportunidades educativas para todos los sectores [30], pero sobre todo, sirve como instrumento para incorporar a la sociedad de la información los estratos de menores recursos que están quedando rezagados en la distribución del conocimiento (exclusión digital) [31].

Para contribuir al mejoramiento de esta situación, se viene trabajando ampliamente en el desarrollo de OVA, los cuales están definidos por el Ministerio de Educación colombiano como: "todo material estructurado de una forma significativa, asociado a un propósito educativo y que corresponda a un recurso de carácter digital que pueda ser distribuido y consultado a través de la Internet" [32].

Para que se constituyan en facilitadores del aprendizaje, los OVA deben concebirse como unidades mínimas de contenido didáctico con sentido en sí mismos que sirvan de anclaje para aprendizajes posteriores [33]. De igual forma, deben contener elementos altamente motivadores e interactivos haciendo uso de la narrativa hipermedial para que establezca relaciones que complementen la información a través de enlaces y mapas conceptuales que presenten la información de una manera sintética y estructurada, priorizando la internavegabilidad [34].

F. Estilos de aprendizaje

El estilo de aprendizaje puede concebirse como un planteamiento cognitivista, referido a la heurística del pensamiento y al conjunto de hábitos y formas de cada persona para pensar y actuar de acuerdo con determinada situación, cómo tiende a tomar decisiones en los diferentes entornos bajo condiciones de incertidumbre, ansiedad, presión, etc. [35].

En forma sencilla, se trata de cómo la mente procesa información, del modo como se vale de ciertas estrategias para trabajarla, (mapas mentales, mapas conceptuales, uve heurística, entre otras) o cómo esta información es influida por las representaciones internas de cada persona con la finalidad de lograr aprendizajes significativos [36].

Se ha logrado agrupar los estilos de aprendizaje y se han logrado encontrar una serie de características que son importantes de reconocer en la labor docente para la fase de planeación de las sesiones pedagógicas. Conforme un estudiante avanza en su proceso de aprendizaje, descubre nuevas o mejores formas de aprender, por lo tanto, puede variar su estilo; además, esta situación dependerá de los contextos, tiempos de aprendizaje, resultados esperados, criterios de evaluación, etc. [37].

El estilo de aprendizaje de cada persona, según la escuela de programación neurolingüística (PNL), es la manera preferida que cada uno tiene de captar, recordar, imaginar o enseñar un contenido determinado [38].

Para la PNL, el canal perceptual por donde nos apropiamos de los contenidos (el ojo, el oído o el cuerpo en general) resulta fundamental en nuestras preferencias de aprendizaje. La mayoría de personas utilizan estos canales en forma desigual, potenciando unos y desatendiendo otros [39].

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del OVA se utilizó el modelo de MEC (materiales educativos computarizados) propuesto por Galvis Panqueva, que hace referencia a la ingeniería de software educativo que conserva los pasos de: análisis, diseño, desarrollo, implementación y evaluación con el propósito de hacer un buen uso del material educativo cuando se requiera y adecuarlo a la necesidad respectiva [40]. El OVA se llevó a cabo en Flex, PHP y Flash.

A. Modelo de Material educativo computarizado, MEC

Material educativo computarizado o MEC es la denominación otorgada a las diferentes aplicaciones informáticas cuyo objetivo final es apoyar el aprendizaje. Se caracterizan porque es el estu-

dante quien controla el ritmo de aprendizaje, la cantidad de ejercicios, decide cuándo abandonar y reiniciar, interactuar reiteradas veces, en fin, son muchos los beneficios. Por su parte, el profesor encuentra en ellos una ayuda significativa, pues en muchos casos toda la actividad del estudiante se registra en los MEC [41]. Estos emplean variedad de ayudas como se muestra en la Fig. 2.

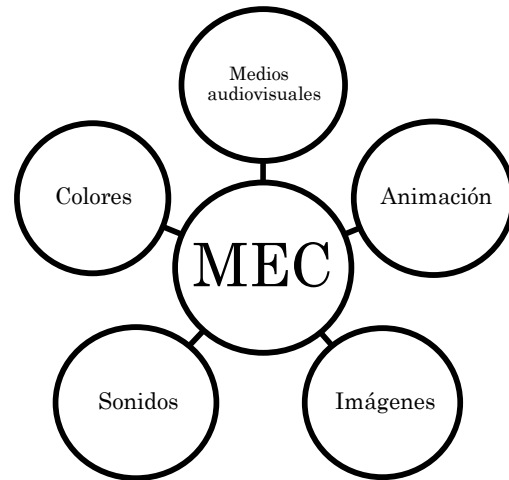


Fig. 2. MEC.
Fuente: Autores.

De igual forma, Galvis Panqueva categoriza las diferentes aplicaciones informáticas de acuerdo con el objetivo que buscan, el momento educativo en que se vayan a utilizar o la complejidad en el diseño de los mismos. Llegar a este tipo de productos, requiere de una revisión y reflexión teórica para acompañar la creación de este nuevo ambiente de aprendizaje.

Es indispensable reconocer las metodologías de desarrollo de software existentes para poder seleccionar la más adecuada. Anteriormente, existían métodos como la Enseñanza Asistida por Ordenador que nació en los años 60 en los Estados Unidos y heredó directamente los métodos de trabajo de la enseñanza programada propuestos y desarrollados por el psicólogo norteamericano Skinner a finales de los años 50; este planteamiento inicial basado en el neoconductismo consistía en usar máquinas de enseñar de encadenamiento lineal pregunta-respuesta-estímulo [42].

Para considerar que un MEC está diseñando correctamente, se debe tener en cuenta que garantice lo siguiente: facilitar la motivación, recordar el aprendizaje anterior, proporcionar nuevos estímulos, activar la respuesta de los alumnos, proporcionar información, estimular la práctica, establecer una secuencia de aprendizaje, propiciar recursos, generar efectos visuales y auditivos, ser cómodamente interactivos, poder procesar símbolos y ser modificables [43].

1) Fase 1: Análisis y obtención

En esta fase se identificaron las necesidades educativas reales que se requiere atender con el OVA a ser desarrollado. Se empleó el modelo de Felder y Silverman, el cual fue seleccionado por la aceptación que tiene entre los desarrolladores de sistemas de aprendizaje electrónico y porque el instrumento empleado para identificar el estilo de aprendizaje del estudiante ha sido validado [44]. El modelo de Felder y Silverman clasifica los estilos de aprendizaje a partir de cinco dimensiones: relativa al tipo de información, relativa al tipo de estímulos preferenciales, relativa a la forma de organizar la información, relativa a la forma de trabajar con la información y relativa a la forma de procesar y comprender la información.

A partir de estos planteamientos, Richard Felder desarrolla un instrumento para el *Inventario de estilos de aprendizaje*, diseñado a partir de cuatro escalas bipolares relacionadas con las preferencias para los estilos de aprendizaje, que son activo-reflexivo, sensorial-intuitivo, visual-verbal y secuencial-global. El instrumento consta de 44 ítems y ha sido utilizado para describir la relación de los estilos de aprendizaje con las preferencias de los estudiantes vinculando los elementos de motivación en el rendimiento académico [45].

Este instrumento fue aplicado a 36 estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas de V semestre que es donde está ubicado el curso y a estudiantes de IV semestre del mismo programa que serán los usuarios potenciales del mismo. La finalidad de la aplicación de este instrumento es identificar qué estilo de aprendizaje predomina en ellos y así revisar las vías más adecuadas para facilitar el proceso de aprendizaje para emplear estas características en el desarrollo del OVA. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla I, II, III y IV.

A partir de los resultados obtenidos se pudo determinar que el grupo de estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas encuestado tuvo predominancia por la opción A, lo cual significa que el grupo es activo, sensorial, visual y secuencial, lo cual es propicio para el desarrollo del OVA de electrónica.

Adicionalmente, se analizaron los contenidos y los elementos que intervienen en el curso de electrónica, como son las problemáticas y factores asociados al aprendizaje y comprensión de los temas, además de revisar las variables implicadas en el mismo, como: los modelos pedagógicos utilizados, la pedagogía del profesor, los factores asociados a la monotonía, la dificultad de los conceptos, el tipo de material, las dificultades en los laboratorios, la actualización de los recursos, las estrategias de comunicación, la motivación del profesor y de los participantes, las aptitudes de los estudiantes en el ingreso, la ubicación de habilidades al ingreso y durante el desarrollo del curso, entre otras.

TABLA I. REGISTRO DE RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS CORRESPONDIENTES A *ACTIVO-REFLEXIVO*

Nro. Preg	Act	Ref
	A	B
1	33	3
5	19	17
9	21	15
13	24	12
17	13	23
21	20	16
25	15	21
29	25	11
33	12	24
37	20	16
41	22	14
Total Columna	A	B
	224	172
Resta Menor al mayor	52	
Asignar Letra mayor	52A	

Fuente: Autores.

TABLA II. REGISTRO DE RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS CORRESPONDIENTES A *SENSORIAL-INTUITIVO*

Nro. Preg	Act	Ref
	A	B
2	21	15
6	30	6
10	23	13
14	16	20
18	28	8
22	21	15
26	19	17
30	21	15
34	15	21
38	24	12
42	25	11
Total Columna	A	B
	243	153
Resta Menor al mayor	90	
Asignar Letra mayor	90A	

Fuente: Autores.

TABLA III. REGISTRO DE RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS CORRESPONDIENTES A SECUENCIAL-GLOBAL

Nro. Preg	Act	Ref
	A	B
4	20	16
8	22	14
12	20	16
16	27	9
20	28	8
24	22	14
28	14	22
32	19	17
36	16	20
40	22	14
44	21	15
Total Columna	A	B
	231	165
Resta Menor al mayor	66	
Asignar Letra mayor	66A	

Fuente: Autores.

TABLA IV. REGISTRO RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS CORRESPONDIENTES A VISUAL-VERBAL

Nro. Preg	Act	Ref
	A	B
2	21	15
6	30	6
10	23	13
14	16	20
18	28	8
22	21	15
26	19	17
30	21	15
34	15	21
38	24	12
42	25	11
Total Columna	A	B
	243	153
Resta Menor al mayor	90	
Asignar Letra mayor	90A	

Fuente: Autores.

2) Fase 2: Diseño

Los hallazgos y recopilaciones de la fase anterior permitieron definir el diseño de forma directa. Con los resultados del análisis, se procedió a la orientación y se observó que el contenido del OVA se deriva de la necesidad o problema que justifica el mismo, así como de lo que se supone que un usuario del OVA ya sabe sobre el tema.

Entre los elementos a tener en cuenta, se establecen momentos para el diseño del OVA, los cuales son características de las necesidades y los propósitos, en este caso del curso de Electrónica; estos se describen a continuación:

- *Entorno de diseño.* En esta etapa del proyecto se diseñaron las condiciones y los requerimientos para laboratorios, simulaciones, videos, contenidos del material educativo, pruebas, evaluaciones para los estudiantes, motor de evaluación para el docente teniendo en cuenta los tipos de usuario.
- *Diseño educativo.* Se resolvieron los interrogantes que se refieren en el alcance de la propuesta, los contenidos, las estrategias, los apoyos pedagógicos y el tratamiento de los recursos que debía ser capaz de apoyar el OVA para responder en los propósitos del curso desde los componentes teóricos y prácticos.
- *Diseño computacional.* Se acude a las necesidades; se establecieron qué funciones serían deseables que cumpliera el OVA para el apoyo de sus usuarios, el profesor y los estudiantes, como se ilustra en el caso de uso mostrado en la Fig. 3. Esta propuesta busca que el OVA diseñado pueda brindar al estudiante la posibilidad de controlar la secuencia, el ritmo, la cantidad de ejercicios y de abandonar y reiniciar. Por otra parte, se piensa en este momento de la metodología ¿qué puede ofrecer el OVA al profesor? teniendo en cuenta aspectos como la posibilidad de editar los ejercicios o las explicaciones, llevar registro de los estudiantes que utilizan el material y del rendimiento que demuestran y hacer análisis estadísticos sobre variables de interés, entre otros.

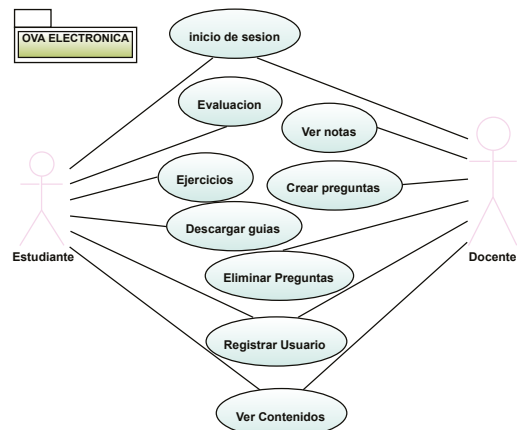


Fig. 3. Diagrama de caso de uso del OVA. Fuente: Autores.

- *Diseño de la comunicación.* Se estableció la interacción hombre-máquina. Para especificarla, se determinó cómo se realizaría la comunicación del usuario con el OVA, estableciendo los dispositivos y códigos o mensajes (interfaz de entrada); también se hizo necesario establecer cómo se comunicaría el programa con el usuario, mediante qué dispositivos y valiéndose de qué códigos o mensajes (interfaz de salida) (Fig.4).



Fig. 4. Interfaz del OVA.
Fuente: Autores

- *Preparación y revisión de los elementos del OVA.* Es la fase final de la metodología en la etapa del diseño. Aquí se pretende llevar al terreno de la aplicación aquello que se ha concebido para el curso de Electrónica, y verificar las estrategias creadas frente a las necesidades y población a la que se dirige el mismo.

La forma más apropiada y la elegida en este caso para elaborar la aplicación se basa en bocetos en papel de cada uno de los ambientes que se van utilizar; otra forma complementaria es hacer lo equivalente pero en el computador. En esta parte intervienen expertos externos a los diseñadores, así como usuarios representativos de la población objeto. A cada uno de ellos debe someterse a consideración el bosquejo, conocer su reacción general y sus sugerencias particulares como base para realizar los ajustes al diseño donde sea pertinente.

3) Fase 3: Desarrollo

Según esta metodología, se contempla que una vez que se dispone de un diseño debidamente documentado, es posible llevar a cabo su implementación en el computador usando herramientas de trabajo que permitan al recurso humano asignado cumplir con las metas en términos de tiempo y de calidad del OVA. En este caso se acomodan los

recursos y se realizan las disposiciones pertinentes para el caso.

El desarrollo fue ejecutado por los responsables del proyecto pero contó con el apoyo de otros miembros del grupo (director, codirector, profesores, pedagogos, asesores externos), lo que facilitó la retroalimentación de los diseños, permitiendo de esta forma consultar sobre la calidad de lo que se va haciendo y sobre detalles que surgieron a lo largo de la programación.

En esta fase fue importante la intervención de expertos en diseño gráfico para proveer los elementos que integraran el OVA, como una interfaz adecuada que motivara al estudiante a aprender, además, se hizo necesario integrarlos en un archivo HTML, generando aquí una plantilla con datos como la información general de la institución, el logo de la universidad, entre otros, con el fin de ofrecer a los estudiantes contenidos con un formato uniforme (Fig. 5).

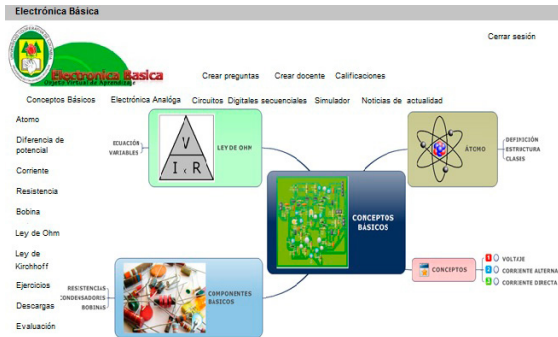


Fig. 5. Interfaz principal - navegación por módulos.
Fuente: Autores

La Fig. 5 demuestra cómo se benefician los estilos de aprendizaje identificados (activo, sensorial, visual, secuencial) por cuanto implica una exploración en la pantalla para poder reconocer diferentes conceptos relacionados con el curso. El acceso a cualquiera de las unidades de aprendizaje despliega un menú en la parte izquierda de la pantalla dando la posibilidad de seleccionar alternativas alrededor del tema trabajado como son conceptos básicos, ejercicios, descargas, autoevaluación, entre otros.

Finalmente, en esta fase se hizo necesario un software generador de paquetes SCORM que permitiera crear y editar el metadato del OVA; aquí se seleccionó el que mejor se adaptaba a las necesidades y se procedió a ubicarlo en un repositorio temporal, lo que facilitó la labor de búsqueda y uso para efectos de la evaluación.

En cada unidad de aprendizaje se tiene acceso en forma libre a la autoevaluación, como se muestra en la Fig. 6.

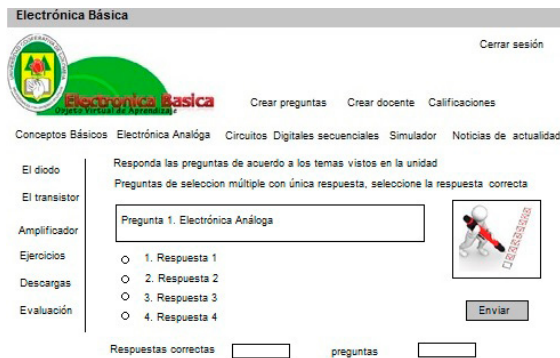


Fig. 6. Autoevaluación del OVA.
Fuente: Autores

4) Fase 4: Implementación

Esta fase permite adoptar estándares para ser utilizados en diferentes plataformas, además provee un MEC que funciona sin la necesidad de estar conectado a Internet, facilitando su uso y reuso. Para que esto se dé de manera adecuada, se deben tener en cuenta las tecnologías a utilizar, como son los repositorios de OVA y los Sistemas de Gestión de Aprendizaje. El OVA se implementa en una plataforma institucional de e-learning denominada *Aulas extendidas*.

Finalmente, se logró realizar una implementación en los lenguajes de programación Flex, PHP y Flash enfocando el desarrollo en el modelo vista controlador, permitiendo así que cada uno de los lenguajes esté presente en una parte especificada del aplicativo [46].

Flex

Adobe Flex es un *framework* de desarrollo de aplicaciones web interactivas: Aplicaciones Ricas de Internet, RIA. Se basa en la plataforma Flash combinando el lenguaje de marcas MXML y el lenguaje de programación Actionscript. Su entorno de desarrollo es Flex Builder [47]. Flex se encarga de realizar el módulo de vista, interfaces y consultas a cada una de las unidades mostrando los contenidos que se encuentran en cada una de ellas, además, se encarga de la integración entre PHP y Flash.

Flash

El software Adobe Flash Professional es un potente entorno de creación de animaciones y contenido interactivo y expresivo líder en el sector. Con éste se pueden diseñar experiencias interactivas envolventes que se presenten de forma uniforme en computadores de escritorio y múltiples dispositivos, incluidos tabletas, teléfonos inteligentes y televisores [48].

PHP

Es un lenguaje de código abierto muy popular, especialmente adecuado para desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML. La mayor parte de su sintaxis ha sido tomada de C, Java y Perl con algunas características específicas de sí mismo. La meta del lenguaje es permitir rápidamente a los desarrolladores la generación dinámica de páginas [49].

MySQL

Es un sistema de gestión de bases de datos relacional. Fue creada por la empresa sueca MySQL AB, la cual tiene el copyright del código fuente del servidor SQL, así como también de la marca. MySQL es un software de código abierto, licenciado bajo la GPL de la GNU, aunque MySQL AB distribuye una versión comercial, en lo único que se diferencia de la versión libre es en el soporte técnico que ofrece y la posibilidad de integrar este gestor en un software propietario, ya que de otra manera, se vulneraría la licencia GPL [50].

Con el lenguaje interpretado PHP se realizan las operaciones de control requeridas para el funcionamiento del sistema, implementando las consultas necesarias a la base de datos y realizando la conexión entre la misma y el aplicativo; esa integración es gestionada con el motor de bases de datos MySQL, en donde se almacena la información del sistema.

Por último, todas las animaciones que se encuentran en el aplicativo están desarrolladas en Flash y su lenguaje de programación propio Actionscript 3.0 y Actionscript 2.0.

5) Fase 5: Evaluación

Esta fase busca contribuir a la depuración del OVA, teniendo claridad de que no se evaluará de manera individual cada objetivo de aprendizaje sino más bien se tomará el curso como un todo y teniendo en cuenta algunos criterios de referencia. La evaluación inicia con una prueba piloto de su utilización en una muestra representativa de los estudiantes del curso de Electrónica de V semestre del programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio, para los que se hizo la evaluación formativa. Los estudiantes manifestaron estar a gusto con el diseño del OVA y las diferentes opciones que presenta el menú.

En este punto, el OVA se encuentra listo para ser utilizado, razón por la cual es necesario que se diseñen pruebas sencillas de rendimiento, como listas de observación y cotejo, para determinar cuánto aprendieron los usuarios. Las pruebas se aplicarán al menos al inicio y al final del uso del material para contrastar las diferencias. Además

de las pruebas de rendimiento es importante, para ver los propósitos del curso y los logros de los estudiantes de Electrónica, registrar cuánto tiempo se interactuó con el material para conocer el tiempo mínimo, máximo y promedio que se requiere para estudiar el OVA y sacarle provecho a la evaluación de la herramienta.

Para lograr condiciones normales, la prueba debe hacerse bajo circunstancias lo más cercanas a las del uso del material: en el momento de estudio debido y con los recursos y limitaciones del OVA que han sido previstos. Para obtener una muestra representativa conviene hacer una selección de individuos al azar entre la población objeto.

El proyecto de investigación se socializó en varios escenarios como:

- I Encuentro de Investigadores realizado en la Universidad Cooperativa de Colombia, sede Villavicencio, en el mes de noviembre de 2012, donde participaron estudiantes y docentes de la Universidad.
- Visita de estudiantes de la Universidad Distrital con el fin de conocer los proyectos de investigación del programa de Ingeniería de Sistemas en diciembre de 2012.
- Comité de investigaciones, donde se realizaron algunas observaciones en cuanto al OVA de Electrónica, las cuales fueron acatadas.
- Reunión con el grupo de ingenieros electrónicos de la Facultad en mayo de 2013, con el fin de conocer su opinión sobre el diseño del OVA. Los ingenieros electrónicos avalaron el diseño del OVA y reconocieron su importancia para el desarrollo del curso.
- Presentación de ponencia en el XX Congreso Internacional sobre educación Bimodal TELEDU 2014, en la ciudad de Medellín.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

- La aplicación del instrumento de Felder y Silverman permitió identificar las preferencias de los estudiantes en cuanto a estilos de aprendizaje, encontrándonos con un grupo activo, sensorial, visual y secuencial.
- Para el desarrollo del OVA se tuvieron en cuenta cuatro capítulos: conceptos básicos, diodos, circuitos digitales y circuitos digitales secuenciales, en cada uno de ellos se presentan los conceptos principales de una manera dinámica y se brinda la posibilidad de que el estudiante revise enlaces con videos, ejercicios y conceptos del tema tratado.
- El OVA para el curso de Electrónica Básica del programa de Ingeniería de Sistemas está desarrollado en un entorno web, buscando la implementación de la universidad virtual en el acompañamiento del trabajo independiente del estudiante, realizando los siguientes procesos:

- Introducción
- Inicio de sesión
- Registro de usuarios nuevos
- Desarrollo de temática
- Descarga de talleres
- Ejercicios desarrollados
- Actividades evaluativas
- Creación de preguntas para la evaluación
- Eliminación de preguntas
- Revisión de notas
- El OVA para el curso de Electrónica Básica permite el ingreso de tres tipos de usuario, definiendo para ellos tres roles específicos:
 - Rol de administrador o docente: puede visualizar cada uno de los módulos del aplicativo, administrar las preguntas para las actividades evaluativas, obtener las calificaciones de los estudiantes tanto por modulo individual o una nota total del curso, además, a este rol se le permite registrar usuarios con los mismos permisos.
 - Rol de estudiante: posee permisos básicos sobre el OVA y presenta la posibilidad de visualizar cada uno de los módulos del aplicativo, desarrollar las actividades evaluativas y navegar por todo el entorno Web, con lo cual podrá fortalecer los conocimientos adquiridos en clase para así aprobar satisfactoriamente el curso.
 - Rol de visitante: este rol sólo permite visualizar los contenidos del OVA, dando la posibilidad de adquirir los conocimientos teórico-prácticos proporcionados; puede realizar los ejercicios propuestos pero no la evaluación de cada módulo. No se tienen en cuenta sus calificaciones. Los permisos en el aplicativo se controlan mediante el inicio de sesión. Durante este proceso se lee el rol de cada usuario y de esta forma se habilita o deshabilita las opciones correspondientes a cada rol.
- El OVA presenta la opción de autoevaluación, lo cual permite que el estudiante valide los conocimientos adquiridos a través de una serie de preguntas que son respondidas mediante la opción de selección múltiple, permitiendo que tome conciencia del proceso autónomo que tiene dentro del aprendizaje.
- El desarrollo del OVA para el curso de Electrónica Básica es una herramienta adicional con la que contarán los estudiantes del curso, lo cual brindará otra opción para fortalecer el aprendizaje y cumplir las competencias del curso y servirá de ejemplo para la creación de nuevos OVA en distintas áreas del conocimiento.
- A partir de la metodología empleada se logra un OVA dinámico que permitirá que semestre a semestre los profesores tengan la opción de ir alimentando la base de datos para variar el tipo de preguntas que se incluyan en la sección de evaluación.

V. CONCLUSIONES

- En la actualidad los OVA son de suma importancia en los modelos pedagógicos y en los programas por competencias, ya que permiten una interacción entre profesor y estudiante para el fortalecimiento del proceso enseñanza-aprendizaje y la aplicación de los conocimientos de la clase magistral por parte del estudiante para el logro de las competencias del curso.
- Los lenguajes de programación escogidos para el desarrollo del OVA cumplieron con las expectativas trazadas en la etapa de análisis y diseño, generando entre los tres lenguajes de programación usados (Flex, PHP, Flash-Actionscript 3.0) una combinación capaz de suplir los requerimientos funcionales establecidos.
- Desde el momento en que se implemente el uso del OVA se estará beneficiando tanto a los estudiantes del curso de Electrónica Básica como al profesor que dirige el curso. Aproximadamente cada año se beneficiará un total de 20 estudiantes del programa de Ingeniería de Sistemas, se busca que con el tiempo se pueda ampliar la cantidad de estudiantes beneficiados incorporando OVA en otros cursos del plan de estudios.
- Las ventajas de utilizar OVA en el aprendizaje de los temas del curso de Electrónica Básica radican en que el docente facilitador se encuentra de forma asincrónica - sincrónica con su estudiante en Ambientes Virtuales de Aprendizaje, por lo que el OVA se comporta como una extensión del docente, del conocimiento y de los aprendizajes que el estudiante debe adquirir: esa es su principal ventaja pedagógica, aparte de generar empatía, interés, animo, autoestima y autoaprendizaje.
- El uso del OVA permitirá al estudiante la selección de alternativas, como son conceptos básicos, ejercicios, descargas, autoevaluación, entre otros, con las cuales podrá reforzar los temas vistos en clase. Estas alternativas fueron implementadas gracias a la identificación de los estilos de aprendizaje de los estudiantes.
- Es necesario que antes de dar inicio al uso del OVA se realice una prueba del rendimiento al estudiante, la cual se vuelva a repetir al finalizar el semestre con el fin de comparar los resultados obtenidos gracias al uso del OVA.

REFERENCIAS

- [1] J. Gómez, *Neurociencia cognitiva y educación*. Ciudad Universitaria de Lambayeque. Perú: Fondo Editorial FACHSE, 2004, pp. 160-176.
- [2] A. Cisneros, *Manual de estilos de aprendizaje*. México: Secretaría de Educación Pública, 2004. [En línea]. Disponible en: http://estudiaen.jalisco.gob.mx/cepse/sites/estudiaen.jalisco.gob.mx/cepse/files/cisneros_a_2004_manual_estilos_de_aprendizaje.pdf
- [3] L. Fajardo, M. Sotelo y F. Moreno. El uso de los OVAS como estrategia de enseñanza – aprendizaje bajo un esquema de educación bimodal. [En línea]. Disponible en: http://www.konradlorenz.edu.co/images/pdf/2012_07_26_ponencia_teledu_texto.pdf.
- [4] C. Sierra, *Educación virtual aprendizaje autónomo y construcción de conocimiento*. Bogotá, Colombia: Editorial Politécnico Gracolombiano, 2012, pp. 23-35.
- [5] M. Moreira, *Aprendizaje significativo: un concepto subyacente*. Presentado el *Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo*. [En línea]. Disponible en: <http://www.if.ufrgs.br/~Moreira/apsigsubesp.pdf>.
- [6] Congreso de Colombia. Ley 1341 de 2009.
- [7] OSILAC, El estado de las estadísticas sobre Sociedad de la Información en los Institutos Nacionales de Estadística de América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Medición de la Sociedad de la Información en América Latina y el Caribe, 2004. [En línea]. Disponible en: <http://www.itu.int/wsis/stocktaking/docs/activities/1102712635/statistics-es.pdf>. Fecha de consulta: 19 de febrero de 2014.
- [8] J. Salinas Ibáñez, “Cambios metodológicos con las TIC: estrategias didácticas y entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje,” *Bordón. Rev. Pedag.*, vol. 56, no. 3, 2004, pp. 469–481.
- [9] Ministerio de Educación, *Competencias TIC para el desarrollo profesional docente*, Colombia aprende, 2013
- [10] P. Marqués Graells, “Impacto de las Tic en la educación: Funciones y limitaciones,” *Cuad. Desarro. Apl. a las TIC*, vol. 2, no. 1, 2013, p. 2.
- [11] M. Cebrián y A. G. Rojas, *Enseñanza virtual para la innovación universitaria*, Madrid: Narcea Ediciones, 2003, pp. 22-29.
- [12] R. Carneiro, *Los desafíos de las TIC para el cambio educativo*. Madrid, España: Fundación Santillana, pp. 61-70.
- [13] C. Sales Arasa, “Análisis de las estrategias de enseñanza con tecnologías de la información. ¿Un nuevo contexto metodológico de secundaria?,” tesis de doctorado, Dept. Ped., Univ. València, Valencia, 2006.
- [14] W. Cevallos, “Desarrollo de un marco referencial para la implantación, transferencia y evaluación de las TIC en las universidades,” Tesis de maestría, Dept. Elec., and Comp, Esc. Sup. Pol. Lit, Guayaquil, Ecuador, 2008.
- [15] J. Salinas Ibáñez, “Modelos flexibles como respuesta de las universidades a la sociedad de la información,” *Acción Pedagógica*, vol. 11, no. 1, 2002, pp. 4–13.
- [16] J. Carmargo, “Incorporación de las TIC en el aula de matemáticas en la básica primaria del centro educativo minas de Iracal sede la Honda,” Pueblo Bello, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://www.eduteka.org/proyectos.php/2/15053>.
- [17] T. Rojano, “Incorporación de entornos tecnológicos de aprendizaje a la cultura escolar: Proyecto de innovación educativa en matemáticas y ciencias en escuelas secundarias públicas de México,” *Rev. Iberoam. Educ.*, no. 33, 2003, pp. 135–165.
- [18] W. Gómez. “Significado que le dan los profesores al uso de las TIC en los procesos de enseñanza y de aprendizaje en dos instituciones educativas de Floridablanca”. Tesis de doctorado, Dep. Ped., Univ. UIS, Santander, Colombia, 2008.
- [19] J. Cabero Almenara, *Nuevas tecnologías aplicadas a la educación*. España: McGraw Hill, 2007, pp. 81-89.
- [20] G. B. Pérez, F. B. Sáiz y A. F. i Miravalles, *Didáctica universitaria en entornos virtuales de enseñanza-aprendizaje*. España: Narcea Ediciones, 2006, pp. 34-41.
- [21] G. Ramirez, *Evaluación de introducción de Internet de objetos en espacios de aprendizaje*. Tesis de doctorado, Dep. Ing. Telem., Univ. Carlos III Madrid, Madrid, España, 2010.
- [22] Ó. H. Velásquez Arboleda, “El nuevo rol del docente virtual para entornos virtuales de aprendizaje, ‘El caso CEIPA,’” *Lupa Empres.*, no. 01, 2014.

- [23] R. Estrella, "Implicaciones pedagógicas y actitud del docente ante el uso de las TIC en el aula de ELE," 2013.
- [24] G. Rodríguez, "Utilización de objetos de aprendizaje para la enseñanza de la materia de tecnologías en la escuela secundaria, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://ilan.com.mx/wpcontent/uploads/2012/10/RedI-LAN.pdf>, pp. 60-67.
- [25] S. Molina Martín, "Una manera de integrar las herramientas tecnológicas en la formación de maestros," *Rev. Electrónica Interuniv. Form. del Profr.*, vol. 12, no. 1, 2009, pp. 139-149.
- [26] A. R. Lizcano Dallos y V. A. Uribe Otálora, "Corbaraque: Propuesta de un modelo para el desarrollo de Mec orientados a programas de educación a distancia," in VII Congreso Iberoamericano de Informática Educativa, 2004, pp. 246-256.
- [27] J. Beltrán Llera, *Procesos, Estrategias y Técnicas de Aprendizaje*. Madrid: Síntesis, 1993, pp. 53-60.
- [28] J. De Zubiría, *Los Modelos Pedagógicos, hacia una pedagogía dialogante*. Instituto Alberto Merani, Bogotá, Colombia: Magisterio Editorial, 2006, pp. 15-18.
- [29] D. J. Dorado, "Breve reflexión sobre entornos virtuales de aprendizaje," en XIII Encuentro de la Escuela Regional de Matemáticas, 2006.
- [30] R. Blanco, A. Astorga, C. Guadalupe, R. Hevia, M. Nieto, M. Robalino y A. Rojas, "Educación de calidad para todos: un asunto de derechos humanos," en II Reunión Intergubernamental del Proyecto Regional de Educación para América Latina y el Caribe, 2007.
- [31] Z. Sánchez y C. Castiglioni. "Educación y nuevas tecnologías", España: Editorial Edunexo, 2000, pp. 26-31.
- [32] Ministerio de Educación Nacional, "Definición Objeto Virtual de Aprendizaje," 2005. [En línea]. Disponible en: <http://www.colombiaaprende.edu.co/html/directivos/1598/article-172369.html>.
- [33] I. I. Sánchez Medina, "Estado del arte de las metodologías y modelos de los Objetos Virtuales de Aprendizaje (OVAS) en Colombia," *Rev. Entornos*, vol. 2, no. 28, Apr. 2015, pp. 93-107.
- [34] M. E. del Moral y D. A. Cernea, "Diseñando Objetos de Aprendizaje como facilitadores de la construcción del conocimiento," Presentado en *II Simp. Pluridisciplinar sobre diseño, eval. y descr. de conte. Educ Reutilizables (SPDECE05.)*, 2007
- [35] S. Nogales y V. Francés. *Estrategias educativas*, 2002, [En línea]. Disponible en: http://www.quadernsdigitals.net/datos_web/biblioteca/l_1343/enLinea/1.htm.
- [36] D. Carbonell, "El concepto de la uve heurística," 2013. [En línea]. Disponible en: <http://diegooctavioarbonell9.blogspot.com.co/2013/02/el-concepto-de-la-uve-heuristica.html>.
- [37] C. P. Mejía y J. A. Grisales, "Los estilos de aprendizaje y el tiempo empleado por el maestro dentro del aula de clase en la conducta del niño de preescolar y básica primaria de la Escuela Normal Superior Rebeca Sierra Cardona en el año 2012," 2012.
- [38] Educarchile, "Conoce tu estilo de aprendizaje y estudia mejor." [En línea]. Disponible en: <http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=78032>
- [39] Canales de Aprendizaje, *Club de ensayos*. [En línea]. Disponible en: <https://www.clubensayos.com/Psicolog%C3%ADa/Canales-De-Aprendizaje/243414.html>
- [40] A. H. Galvis Panqueva, *Material educativo computarizado (MEC). Metodologías de desarrollo de software educativo*. Santa Fe de Bogotá: Ediciones Uniandes, 1996, pp. 15-20.
- [41] M. C. Leguizamón, "Diseño y desarrollo de materiales educativos computarizados (MEC): una posibilidad para integrar la informática con las demás áreas del currículo," en VIII congreso de informática educativa *Aprendizaje y currículo*. [En línea]. Disponible en: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/viewFile/190/365>.
- [42] Universidad Autónoma de México, *Enseñanza a través de la computadora*, 2008. [En línea]. Disponible en <http://132.248.9.195/pd2006/0605150/A9.pdf>.
- [43] D. Cardona Román, C. Velásquez y V. Martínez, "Desarrollo de un objeto virtual de aprendizaje como apoyo al curso mercadeo estratégico de la universidad nacional abierta y a distancia." *Academia*, 2015 [En línea]. Disponible en: http://www.academia.edu/3220544/DESARROLLO_DE_UN_OBJETO_VIRTUAL_DE_APRENDIZAJE_COMO_APOYO_AL_CURSO_MERCADEO_ESTRAT%C3%89GICO_DE_LA_UNIVERSIDAD_NACIONAL_.
- [44] R. Zatarain Cabada y M. L. Barrón Estrada, "Herramienta de autor para la identificación de estilos de aprendizaje utilizando mapas auto-organizados en dispositivos móviles," *Rev. Electrónica Invest. Educ.*, vol. 13, no. 1, mayo 2011.
- [45] H. Fontalvo, F. Iriarte, E. Domínguez, C. Ricardo, B. Ballesteros, V. Muñoz, y J. Campo, "Diseño de ambientes virtuales de enseñanza-aprendizaje y sistemas hipermedia adaptativos basados en modelos de estilos de aprendizaje," *Zo. Próxima*, 2007, pp. 42-61.
- [46] Universidad de Alicante, "Modelo vista controlador (MVC)." [En línea]. Disponible en: <http://si.ua.es/es/documentacion/asp-net-mvc-3/1-dia/modelo-vista-controlador-mvc.html>.
- [47] "Flex - Tutoriales de Flex, videotutoriales y artículos." [En línea]. Disponible en: <http://www.cristalab.com/tags/flex/>.
- [48] "Adobe Flash." [En línea]. Disponible en: <http://www.puntocad.com/index.php/component/jshopping/product/view/11/26?Itemid=0>.
- [49] C. Lunar, "Aprender lenguaje de programación PHP." [En línea]. Disponible en: <http://lunarwarinftec.blogspot.com.co/2015/03/aprender-lenguaje-de-programacion-php.html>.
- [50] E. Toledo, ¿Qué es MySQL? [En línea]. Disponible en: <http://www.gridmorelos.uaem.mx/~mcrucz/cursos/miic/MySQL.pdf>.

Análisis de la Productividad en la Construcción de Vivienda basada en Rendimientos de Mano de Obra

Analysis of Productivity in Housing Construction Based on Labor Performance

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.02>

Artículo de investigación científica - Fecha de recepción: julio 29 de 2015 - Fecha de aceptación: 04 de noviembre de 2015

Adriana Gómez Cabrera

Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá (Colombia).
adrianagomez@javeriana.edu.co

Diana Carolina Morales Bocanegra

Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá (Colombia).
dmoralesb@javeriana.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

A. Gómez Cabrera y D. Morales Bocanegra, "Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 21-31, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.02>

Resumen-- El presente trabajo se basa en la identificación y eliminación de pérdidas dentro del proceso constructivo de edificaciones en la ciudad de Bogotá con el fin de aumentar la productividad. La metodología para recolección de información fue el muestreo de campo con el apoyo de imágenes digitales. Esto permitió identificar los principales factores causantes de pérdidas, entre los que se encuentran: esperas de material, desplazamientos, reprocesos, clima, entre otros. También se realizaron encuestas al personal de obra para identificar aspectos de percepción motivacional de los trabajadores y otros aspectos generales de la obra que afectaban la productividad, como condiciones de salario, clima laboral, estado de ánimo, entre otros. Finalmente, se llevó a cabo una simulación digital para plantear escenarios de mejoramiento donde se identificaban impactos de acciones de mejora que fueron diseñadas de acuerdo con los resultados encontrados en la etapa inicial.

Palabras claves-- Construcción sin pérdidas; simulación de procesos constructivos; productividad de mano de obra en construcción.

Abstract-- This paper is focused on the identification and elimination of waste in building construction process in the city of Bogota so as to increase productivity. The methodology for gathering information was direct observation supported by digital images. Common causes of construction waste were identified, such as insufficient materials, inefficient material distribution, rework, and weather, among others. The data collection method also included construction workers interviews to identify motivational aspects and other general issues that affected productivity. Factors like salaries, workplace environment and mood were identified. Finally, discrete event simulation models were created for the real scenario and different scenarios were proposed.

Keywords-- Lean Construction; Construction Process Simulation; Construction Labor Productivity.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en la industria de la construcción es cada vez más común escuchar conceptos relacionados con la productividad, ya que debido a la globalización es una necesidad para las empresas ser cada vez más productivas y competitivas para así garantizar su permanencia en el tiempo. En Colombia, la construcción es uno de los principales motores de la economía, por lo cual este sector está en búsqueda de métodos que permitan planear y desarrollar proyectos eficientes, que no incurran en sobrecostos ni reprocesos y que disminuya su nivel de incertidumbre [1]. Dentro de estos métodos se encuentran la filosofía de *Lean construction* cuya función principal es buscar la optimización de los recursos, costos y tiempos, orientando sus resultados a la identificación y eliminación de pérdidas y todo aquello que no genere valor dentro del proceso de producción [2]. Muchas de estas pérdidas están principalmente dadas por el recurso humano, quien se ve afectado por ciertos factores que en general no están identificados y su impacto no se encuentra cuantificado [3].

En este proyecto de investigación se identificaron algunos de esos factores que están relacionados con la mano de obra por medio del método del muestreo de campo, toma de videos en tres proyectos de construcción objeto de la investigación y entrevistas a los trabajadores para conocer los factores de percepción motivacional que no son fácilmente identificables y que pueden estar relacionados con la productividad. Finalmente, por medio del software de simulación Arena de Rockwell software, se realizó una simulación del proceso constructivo de una de las obras en su etapa de estructura involucrando actividades de armado de acero, colocación de formaleta y vaciado de concreto. Esta simulación se realizó con los datos recopilados y con el fin de predecir el comportamiento del modelo al eliminar o disminuir los factores que fueron identificados como pérdidas y que afectan la productividad. Teniendo en cuenta que la simulación es una herramienta para la gestión del conocimiento generando modelos de procesos constructivos es posible considerar en los mismos lecciones aprendidas en cada proyecto [4]. Por último, de acuerdo con lo observado y con los resultados de la simulación se plantearon unas recomendaciones según los aspectos y factores encontrados en la investigación.

Estas recomendaciones servirán de referencia para proyectos futuros de investigación y a las empresas constructoras que quieran aplicar los procesos *lean* en sus empresas. Existen factores que afectan la productividad en los procesos de construcción, por lo cual surge la necesidad de conocer y profundizar en cuáles son estos factores. Al identificar estos aspectos es posible analizarlos y actuar sobre ellos para así proponer acciones de mejora y optimizar cada vez más los procesos productivos. Esta información y conocimiento serán útiles en la estimación

de costos y tiempos de un proyecto. Teniendo datos reales de rendimientos de mano de obra y de los problemas más comunes que afectan este rendimiento, se pueden lograr estudios de costos que indiquen la viabilidad real de un proyecto al momento de la planeación, esto con el fin de aumentar la productividad del personal, reducir los tiempos de ejecución del proyecto y a la vez los costos. Con las observaciones realizadas en campo se analizará la productividad con respecto a factores como tiempos, movimientos, utilización de recursos, distribución de cuadrillas, etc. del proceso, lo cual también permite realizar observaciones acerca de seguridad industrial y la prevención de riesgos, logrando así que se mejoren las condiciones de los trabajadores al interior de la obra [5]. Por lo anterior resulta importante conocer y cuantificar los factores que afectan directamente la mano de obra, entre otras para:

1. Aumentar el conocimiento de la mano de obra y de su situación como ser humano dentro de la obra, así como su desempeño en el trabajo.
2. Generar el conocimiento de la productividad actual de los proyectos.
3. Crear estrategias de mejora para aumentar la productividad a partir del recurso humano que estén dirigidas desde la gerencia de la obra.
4. Mejorar las condiciones de trabajo de todos los participantes dentro de la obra.

En la siguiente figura se enmarca la importancia de enfocar los procesos hacia el mejoramiento de la productividad:

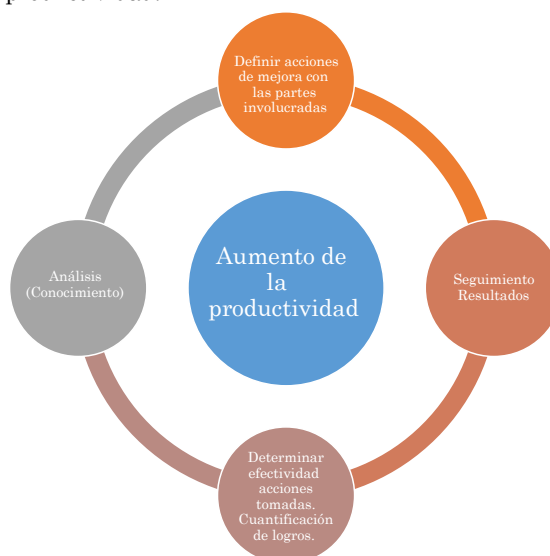


Fig. 1. Importancia del conocimiento de la productividad.

Fuente: Autores.

Existen datos de la aplicación teórica de mejoramiento de la productividad pero la mayoría son producto de investigaciones académicas, ya que en la industria de la construcción no se tienen metodo-

logías claras. Es por eso que por medio de la simulación se busca predecir estos escenarios óptimos, midiendo los tiempos de duración de las actividades y determinando los factores fundamentales causantes de las pérdidas de tiempo que generan bajas en la productividad [6]. Se tienen registros de bajos niveles de productividad en el sector de la construcción [7], soportados también por estudios realizados con técnicas como el muestreo de trabajo, entre otras. Estas técnicas permiten conocer la forma en que los obreros invierten su tiempo para el desarrollo de las actividades.

Es así como en general el sector de la construcción (aunque puede variar por actividad) presenta porcentajes de trabajo no productivo de cerca del 40%, el tiempo restante se ve invertido en la realización de actividades de desarrollo y apoyo de la actividad principal. Este alto porcentaje que no contribuye a la realización de la actividad principal es considerado como una pérdida, gasta recursos y tiempo y no aportan valor. Particularmente en la construcción, la productividad presenta bajas investigaciones y bajos niveles de aumento respecto a otros sectores económicos: la manufactura ha presentado un aumento en la productividad del 100% en los últimos 30 años, mientras que la construcción se mantiene igual [8].

El sector de la construcción es para Colombia, uno de los sectores más importantes por la generación de empleo y por su crecimiento anual. En los últimos cinco años el porcentaje de PIB aportado por el sector es en promedio 7.4%, pero durante el primer trimestre de 2013, el sector de la construcción representó 8,2% del total del Producto Interno Bruto (PIB) de Colombia, mientras que otros sectores (aproximadamente 40 en total) tienen un promedio de 2% [9]. De otro lado, el recurso humano es el más importante para la ejecución de una obra y es quien, con su rendimiento, varía el rendimiento de los otros recursos [10], [11]. Sin embargo y de acuerdo con los análisis realizados por el Consejo Privado de Competitividad, una de las brechas de productividad está dada por el recurso humano, quien desafortunadamente se ve afectado por diferentes factores que reducen directamente los niveles de productividad. En la búsqueda de la medición de la productividad se han diseñado herramientas y estudios en los que se identifiquen estas falencias, ya que se plantea que al identificar dentro del proceso constructivo las causas de estas pérdidas y reduciéndolas, hay un incremento en la productividad [5].

Las áreas de mayor impacto en el mejoramiento de la productividad se centran en la planeación, la gerencia y construcción, y no necesariamente implica un mayor costo, consumo de tiempo u otras dificultades. Sin embargo, se requiere de compromiso para identificar las áreas a mejorar para aplicar las modificaciones de mejora y mantenerlas en el tiempo [12], [13].

Aunque muchos de los factores que afectan la productividad están relacionados directamente con el recurso humano, no en todos los casos se brinda la importancia que merece, teniendo en cuenta que la mano de obra es un componente fundamental del proceso productivo; es por eso que en la presente investigación se profundiza un poco más sobre el tema, y con la ayuda de la simulación digital se predice la afectación que estos factores tienen sobre la productividad. De esta forma, se plantea una herramienta útil para la toma de decisiones con respecto a los métodos constructivos y recursos involucrados con el fin de minimizar su costo y duración. Aunque las investigaciones sobre simulación en la industria de la construcción están avanzando académicamente, su aplicación en el sector aún es limitada debido a que se sigue trabajando con las técnicas tradicionales que a menudo son insuficientes. Algunas de las herramientas que se han utilizado para simulación en construcción son CYCLONE (1977), INSIGHT (1987), RESQUE (1987), UM-CYCLONE (1989), Micro-CYCLONE (1990), STROBOSCOPE (1994), ABC (1999) y HK CONSIM (2003) [14].

Dentro de las investigaciones referentes al tema, vale la pena resaltar la realizada por [15] donde se definen los conceptos y aplicaciones de la nueva filosofía de la construcción llamada *Lean construction* cuya teoría se basa en la búsqueda de la optimización de recursos, tiempos y costos. Esta metodología ha sido implementada en muchas empresas a nivel internacional desde 1993 y se basa en la eliminación sin desperdicios o pérdidas, como aquellas actividades que no generan valor sino que, por el contrario, causan re-procesos y demoras en la cadena productiva. El mejoramiento de esta productividad consiste en la identificación de las causas que originan esas pérdidas para proponer acciones de mejora y así, al tenerlas identificadas y al conocer estos factores que la afectan tanto positiva como negativamente, se puede actuar sobre ellas haciendo las respectivas correcciones y acciones de mejora que permitan, con el debido seguimiento, ir aumentando la productividad en los proyectos de construcción.

En el trabajo realizado por [12], que consistió en una investigación sobre rendimientos y mano de obra empleados en actividades para la construcción de vivienda de interés social en mampostería estructural, se tomaron datos reales medidos en obra para conformar una base de datos y se identificaron factores que afectaban esta mano de obra para posteriormente utilizar un software que permitiera predecir este consumo a partir de la correlación de los diferentes factores. Como conclusión de ese estudio se tienen las siguientes premisas: los sobrecostos a los que se ven asociados los proyectos por una mala identificación y cuantificación de los rendimientos es bastante elevado; el modelo planteado se ajusta a ciertas condiciones propias de un proyecto de VIS; la investigación da unos consumos

estándares que se pueden aplicar a otros proyectos; las ecuaciones presentadas muestran una correlación significativa entre el consumo y algunas variables independientes, por lo cual son estadísticamente válidos. Sin embargo, se limita a dos obras en la ciudad de Medellín y pueden no ser suficientes para generalizar la metodología, tampoco se realizó un análisis de impacto de las variables tiempo y costo en el rendimiento de la mano de obra. Un futuro trabajo realizó la implementación conjunta de la simulación de operaciones, y la técnica de líneas de balance permitió la comparación y la toma de decisiones con menor incertidumbre que la proporcionada a través del conocimiento empírico [12].

Otros investigadores realizan una estimación de la productividad real de una obra para un caso específico por medio del método de “Muestreo del trabajo”. En este trabajo se dan unos valores promedio de caracterización del trabajo productivo, contributivo y no contributivo, también plantea que al identificar y eliminar los problemas que afectan la productividad, se reducirán los costos asociados. El trabajo se realizó a partir un caso puntual en Argentina, pero las prácticas pueden ser extendidas a otras obras [16]. Diferentes estudios de caso generan una serie de recomendaciones para disminuir el tiempo total de la construcción dando a los encargados de la planeación de los proyectos las herramientas necesarias que permitan evaluar varios escenarios de manera probabilística, lo cual permitirá una mejor toma de decisiones y una disminución de la incertidumbre del comportamiento del proyecto [17]. El tema también ha sido abordado por [18], donde a partir del levantamiento de información en campo para un proceso constructivo de estructura se empleó la simulación de eventos discretos. En esta investigación se diseñó un modelo de simulación en el software Arena, el cual permite controlar la duración de las actividades, consumo de materiales y la correcta utilización del recurso, logrando así, y de acuerdo con las características propias de la obra, introducir la información y datos de entrada para el modelo. Con esta herramienta, se pudieron simular varios escenarios antes de la puesta en marcha del proyecto, lo cual proporcionó varios instrumentos y lecciones aprendidas para una mejora continua del proceso constructivo. Como resultado, en una de las alternativas se obtuvo que al disminuir el personal de la obra en oficiales y ayudantes, se puede mantener la duración del proyecto, disminuyendo así los costos asociados a este recurso. Otro ejemplo de Colombia, analiza las actividades de mampostería y muro en concreto en la construcción de una edificación cuyo sistema estructural consistía en pantallas de concreto reforzado construido con formaleta manoportable. Se simularon escenarios y se generaron recomendaciones como: revisar el proceso de mampostería, ubicar el material más cerca de su ejecución, cambiar los vehículos para el transporte

de material, adquirir baldes y rodillos con líquidos desencofrantes, garantizar la terminación de las actividades del día anterior, entre otros. Finalmente, al realizar el balance del trabajo de acuerdo con las duraciones y a la reubicación del personal, se concluyó que se podría hacer una reducción de 1 hora al día de trabajo [1].

Siguiendo esta misma línea de investigación, en el trabajo realizado por [6] se presenta una propuesta mediante el uso de tecnología para capturar imágenes que permitan medir la productividad, y que por medio de la aplicación de los conceptos de la filosofía *Lean construction* se planteen unas posibles soluciones para mejorar estos aspectos que afectan el rendimiento. Esta investigación ofrece un sistema que facilita la toma de decisiones con respecto a métodos constructivos y los recursos involucrados para cada proyecto, todo esto con el objetivo de que dentro de los proyectos de construcción se logre aumentar los rendimientos y disminuir los costos asociados a éstos. Los resultados obtenidos dieron como resultado que al ser implementado se redujeron los tiempos de ciclo y se dio un mejor uso de los recursos, lo que se traduce en ahorro de recursos para el proyecto. De estos resultados obtenidos se plantearon nuevos escenarios teóricos que posteriormente se simularon y arrojaron como resultado un ahorro en tiempo y costos. Se concluye que una de las causas principales para las pérdidas de tiempo es que los materiales o los equipos no son entregados cerca de donde se van a utilizar y que la actividad en la que se utiliza más personal del necesario es en el vaciado de concreto de los elementos estructurales.

Otra investigación se centra exclusivamente en la productividad laboral del recurso humano con el fin de generar ahorros en tiempo y costo por medio de la administración adecuada de los mismos, además, relaciona la productividad con los conceptos de valor ganado. Asimismo, abarca las definiciones de construcción, productividad laboral, aspectos, medidas, factores y algunas técnicas que pueden ser utilizadas para la medición y técnicas de modelado. El resultado principal a partir de la literatura es que no hay una definición estándar de la productividad. Este estudio proporciona una guía para conocer los pasos necesarios para mejorar la productividad del trabajo de la construcción y, en consecuencia, del rendimiento del proyecto. Puede ayudar a mejorar el rendimiento global de los proyectos de construcción a través de la aplicación del concepto de *puntos de referencia*. Especialmente, enlista cinco técnicas comúnmente usadas para la medición de la productividad en obra, lo cual nos abre la posibilidad de estudiarlas y elegir la de mayor aplicación en el medio colombiano: técnica de muestreo, técnica de encuesta a empleados, técnica de estudio de tiempo, técnica de análisis de movimiento y técnica de tiempo en grupo [19].

Otro reciente trabajo relaciona la productividad como la estrategia para lograr una alta competitividad frente a otras empresas. Sin embargo, se hace énfasis en que para ello se requiere de un aumento de la productividad manteniendo constantes el precio y la calidad. Se indica que la mayoría de los estudios realizados muestran que en el lugar de trabajo los trabajadores tienen una productividad por debajo del 50%, y se realiza un estudio con 25 directores de obra para definir cinco puntos sobre los cuales se puede aumentar la productividad con los cuales se desarrolló un modelo para hacer mejoras y soluciones alternativas que pueden servir para proyectos futuros [20].

La simulación computacional como herramienta fundamental para la planeación y ejecución de la obras civiles es propuesta por [21] en un caso de estudio que presenta los beneficios a largo plazo y plantea lineamientos para futuros desarrollos computacionales que sigan previendo y aportando a la planeación y ejecución de proyectos de construcción. Este estudio complementa muy bien la filosofía de simulación implementada en este trabajo ya que concluye que la simulación es el futuro de la planeación de los proyectos puesto que aportan al mejoramiento de los procesos constructivos.

Investigaciones más recientes presentan la simulación de la construcción de un hotel por medio de la simulación de eventos discretos. Este estudio se realizó por medio de la herramienta Tecnomatx plant simulation. El resultado obtenido arrojó que la simulación digital es complemento para las etapas de planeación y control durante la etapa de ejecución [22]. Una investigación colombiana también relaciona la simulación como una herramienta que no debe utilizarse de manera aislada sino que, por el contrario, sus beneficios se maximizan al analizarla en conjunto con metodologías de modelación digital de edificaciones para integración de proyectos y con herramientas de optimización de programación de obra [23].

II. METODOLOGÍA

Para la recolección de información se tomaron datos de tres obras en la ciudad de Bogotá. Las obras seleccionadas corresponden a uso residencial y construcción con sistema aporticado con muros de concreto reforzado. Estas obras son de una misma constructora con características similares en su proceso de ejecución. El proyecto 1 consta de 2 torres de 16 y 26 pisos; el sistema constructivo consiste en un sistema convencional aporticado en muros y losas de concreto reforzado. El proyecto 2 consta de 4 torres de 22 pisos y el sistema constructivo utilizado para este proyecto es el sistema de pórticos que forman un conjunto de vigas y columnas que se conectan rígidamente; el concreto se producía en obra mediante una planta mezcladora. El proyecto

3 consta de 4 torres de apartamentos de 16 pisos y el sistema estructural es aporticado con estructuras de muros y placas en concreto reforzado. Para los 3 proyectos, la metodología empleada se resume en la Fig. 2

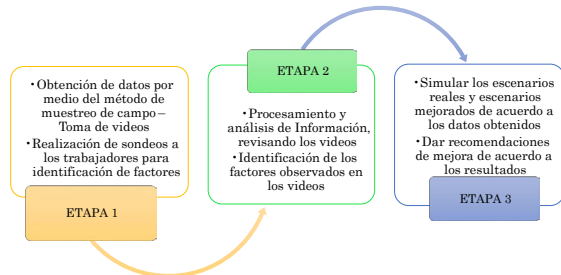


Fig. 2. Metodología.
Fuente: Autores.

A. Trabajo de campo y recolección de información

La obtención y captura de la información se realizó por medio del método de muestreo de campo. Se realizaron visitas a cada una de estas obras en las que se tomaron videos de las actividades que ejecutaban los trabajadores durante diferentes horas del día. Lo anterior con el fin de tener acceso a las actividades en diferentes horas y días de la semana, y así medir e identificar las variaciones en diversas condiciones. Se tomaron datos durante las actividades de armado de acero, instalación de formaleta y vaciado de concreto para la elaboración de columnas, placa y vigas. La Fig. 3 muestra un diagrama con los procesos macro y las actividades en cada uno de ellos:

PLACA	VIGAS	COLUMNAS
<ul style="list-style-type: none"> • Acero Placa • Formaleta placa • Concreto placa 	<ul style="list-style-type: none"> • Acero Placa • Formaleta placa • Concreto placa 	<ul style="list-style-type: none"> • Acero Placa • Formaleta placa • Concreto placa

Fig. 3. Procesos y actividades de la medición.
Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta que no todos los factores son identificables a simple vista, se realizaron entrevistas personalizadas a los trabajadores. Estas entrevistas permitieron tener un acercamiento a ellos para conocer y medir factores intrínsecos y que pueden tener un valor significativo en la afectación de la productividad y de su rendimiento laboral. En esta etapa se determinaron las preguntas a realizar a los trabajadores, las cuales se diseñaron con el fin de identificar esos posibles factores que les afectan. Durante las inspecciones visuales realizadas a la obra, también se identificó el flujo de trabajo con la secuencia de actividades y el personal involucrado en cada una de ellas.

B. Procesamiento y análisis de la información

En la segunda etapa se llevó a cabo todo el procesamiento y análisis de la información, caracterizando los factores y las variables involucradas y que afectan la productividad de la mano de obra. Se realizó el análisis estadístico de la información y se cuantificó el impacto que tienen estas variables en la productividad, verificando la distribución y participación de las actividades involucradas en cada uno de los procesos. Se analizó la información y se obtuvieron datos de trabajo productivo, contributivo y no contributivo con los factores identificados en la fase anterior, revisando detalladamente los videos tomados en obra y clasificando las actividades en los tipos de trabajo anteriormente mencionados.

C. Simulación

Por último, se realizó una fase de análisis de los resultados obtenidos determinado la relación que existen entre las variables relacionando lo observado en campo con los rendimientos reales obtenidos en obra. En esta fase se realizó una simulación con el software *Arena* incluyendo los factores y variables de acuerdo con las condiciones encontradas. Luego se plantearon escenarios mejorados y se dieron recomendaciones a partir del análisis de la información.

IV. RESULTADOS

A. Análisis de actividades de obra

Luego del proceso de obtención de material digital y análisis de los videos tomados y de las encuestas realizadas en las diferentes obras, se recopiló toda la información en una base de datos donde los diferentes tiempos por actividad y tipo de procesos se pudieron organizar y presentar de manera gráfica para así lograr ver porcentajes, tendencias y cantidades de los aspectos más relevantes del estudio. En la Fig. 4 se presentan estos resultados mencionados con su respectivo análisis y en la Fig. 5 se identifican los principales tipos de trabajos observados en las tres obras.

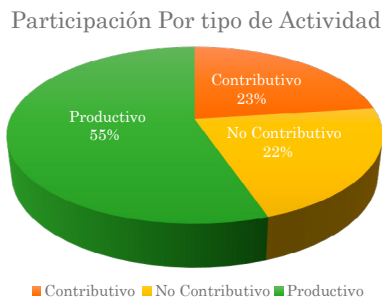


Fig. 4. Participación por tipo de actividad. Fuente: Autores.

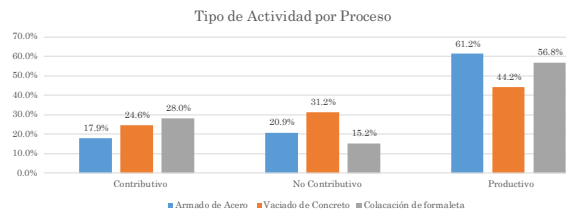


Fig. 5. Tipo de actividad por proceso. Fuente: Autores.

Como era de esperarse, el mayor porcentaje de tipo de actividad está comprendido en el trabajo productivo, pero es interesante ver que el 21.8%, casi una cuarta parte de todo el tiempo, es gastado en actividades no contributivas, lo cual demuestra que las oportunidades de mejora para esta obra son muy significativas y que si se logra distribuir esas pérdidas de tiempo, ya sea en tiempo productivo o contributivo, se lograría disminuir los tiempos de los procesos o aumentar la calidad de éste, ya que se podría invertir más tiempo en control, medición y limpieza.

En la siguiente figura se puede observar que la actividad con mayor contribución de tiempo productivo es el armado de acero, demostrando que es la cuadrilla más eficiente.

A continuación se presenta la figura 6 con el detalle de aquellas actividades no contributivas, que representan la cuarta parte del tiempo total, como se mencionaba anteriormente.

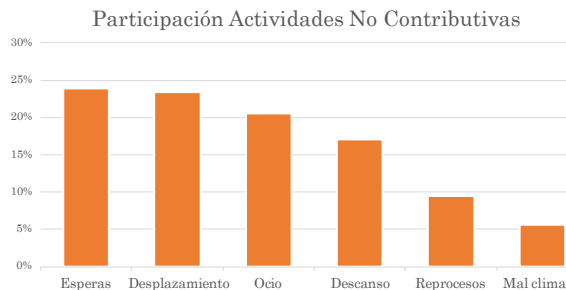


Fig. 6. Participación de las actividades no contributivas. Fuente: Autores.

Se puede observar que casi el 70% de las actividades no contributivas se dividen en tres aspectos: esperas, desplazamientos y ocio. Los dos primeros se pueden corregir desde una planeación administrativa más adecuada donde los puestos de trabajo y los recursos estén ubicados estratégicamente para evitar pérdidas de tiempo y de energía.

El ocio es un tema que se debe atacar directamente por los supervisores en piso y se debe identificar si está directamente ligada a factores motivacionales del personal o a una mala programación de actividades. Por otro lado, al detallar la distribución de actividades contributivas, se puede observar que la preparación de materiales tiene un valor importante con respecto a las otras, esto implica a las acti-

vidades como: corte de acero, verificación de verticalidades, medición de formaletas, entre otras. Es importante resaltar que estas actividades son claves para garantizar una óptima calidad de la ejecución del trabajo.

Los datos también se pueden analizar desde otra perspectiva: detallando las actividades de tipo no contributivo pero para cada proceso constructivo estudiado en este trabajo; de esta manera, fácilmente se puede identificar el proceso que más genera pérdidas de tiempos y así poder, a su vez, proponer mejoras puntuales que afecten positivamente el proceso general de la obra. En la Tabla I se presenta la distribución porcentual de cada factor por actividad:

TABLA I. CONTRIBUCIÓN DE FACTORES POR ACTIVIDAD.

Factor	Actividad		
	Armado de acero	Colocación de formaleta	Vaciado de concreto
Esperas	20.6%	17.8%	31.1%
Desplazamiento	25.5%	27.5%	18.7%
Ocio	7.8%	27.3%	23.9%
Descanso	21.0%	16.9%	12.9%
Reprocesos	17.0%	10,5%	7.0%
Mal clima	8.0%	0.0%	6.5%

Fuente: Autores.

Es interesante ver que para cada actividad se tiene un factor diferente liderando la pérdida de tiempos. En armado de acero resultan ser los desplazamientos los de mayor aporte con un 25.5% del total del tiempo no contributivo en esta actividad, mientras que para la colocación de formaleta el 37,7% del total de pérdidas se deben al ocio. Finalmente, para el vaciado de concreto son las esperas las que más contribuyen a trabajos no contributivos con un 31.1%.

Estos porcentajes no son muy dicentes si se comparan entre sí, ya que cada actividad tiene una participación diferente en la obra, por lo que se hace necesario utilizar la simulación para poder iden-

tificar realmente qué factor es el que más influye en la pérdida de tiempos causando que los procesos sean improductivos. La tabla anterior se presenta también de manera gráfica en la Fig. 7 para poder visualizar fácilmente cómo es la distribución de los factores para cada actividad independiente.

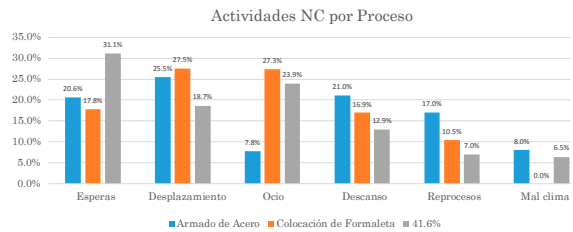


Fig. 7. Actividades no contributivas por proceso. Fuente: Autores.

Como resumen de los resultados generales de los proyectos se presenta la Fig. 8, donde se aprecia claramente cómo es la distribución de tipos de trabajos para cada obra.

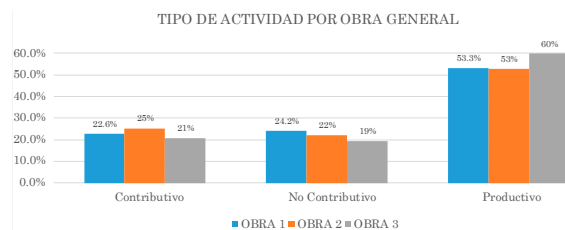


Fig. 8. Distribución de trabajo por obra. Fuente: Autores.

Para conocer la percepción que tienen directamente los trabajadores frente a su productividad, las inconformidades y factores que, de acuerdo con su percepción, afectan su desempeño dentro de la obra, se realizaron unos sondeos en los que se diseñaron una serie de preguntas para indagar y tratar de profundizar más sobre este tema. Como resumen general se presenta la Tabla II con las condiciones e inconformidades encontradas según los sondeos realizados. A nivel general se observa una gran inconformidad por parte de los trabajadores con respecto a los temas salariales, cambios constantes de actividad y trato por parte del jefe inmediato.

TABLA II. FACTORES DE PERCEPCIÓN MOTIVACIONAL.

No	Percepción Motivacional	%	No	Percepción Motivacional	%
1	Demora en el pago del sueldo; remuneración	34%	5	Reconocimiento del trabajo	8%
2	Mal trato por parte del jefe y clima laboral	15%	6	Problemas familiares	7%
3	Otros	14%	7	La rutina	6%
4	Estado de ánimo y cansancio personal	10%	8	Ninguna	6%

Fuente: Autores.

B. Simulación

Para conocer el comportamiento del proceso con las situaciones encontradas, se simuló en el software Arena el proceso constructivo de un ciclo de construcción de una torre de 7 pisos. Se analizó la construcción de cada piso como un ciclo del proceso, el cual tiene una duración aproximada de 19 días. Se determinaron tiempos de duración para las siguientes actividades para luego ingresar estos datos como datos de entrada para la simulación; para esto se contó con la colaboración de la empresa constructora quien suministró la información. Para la simulación se estableció el flujo de trabajo de las actividades, el cual se presenta a continuación en la Fig. 9.

Para la conceptualización del modelo se planteó una distribución por zonas, tal como se hace realmente en el proceso constructivo de la obra. En cada una de las cuatro zonas se llevan a cabo las actividades de armado de acero y encofrado en el mismo orden. Para esto se tuvo en cuenta la secuencia y las actividades que son predecesoras, tanto en la misma zona como en la combinación entre ellas. La combinación de zonas se refiere al proceso de vaciado de concreto que se simuló unificando la zona 1 y zona 2, llamándola zona A, y luego la zona 3 y zona 4, llamándola zona B. Esto se presenta en la Fig. 10.

En estas dos nuevas zonas se realiza el proceso de vaciado de concreto y desencofrado. Este planteamiento del modelo hace que el diagrama de flujo en Arena sea un sistema en serie escalonado donde las actividades comienzan en la zona 1, y justo al acabar la primera actividad (encofrado de losa), arrancan simultáneamente esta primera actividad pero en la zona 2 y la segunda actividad (armado de malla electrosoldada) en la zona 1.

De esta manera se van escalonando las actividades hasta el punto que la zona 1 debe esperar a que la zona 2 esté lista para el vaciado de concreto, al igual que paso con las otras dos zonas. Una vez la zona A termina completamente las actividades, el modelo espera a que toda la zona B se finalice para dar por terminado el proceso del piso y arrancar por medio de un contador todo el proceso nuevamente pero con el siguiente piso. Este proceso se repite 7 veces (el número de pisos determinado) para dar por terminada la simulación y poder devolver la sumatoria de tiempos que equivalen al tiempo total de la construcción del edificio propuesto.

En la Fig. 11, se muestra cómo se planteó el modelo, aquí se pueden ver cómo van entrando las actividades y las zonas en la medida en que va avanzando la construcción.

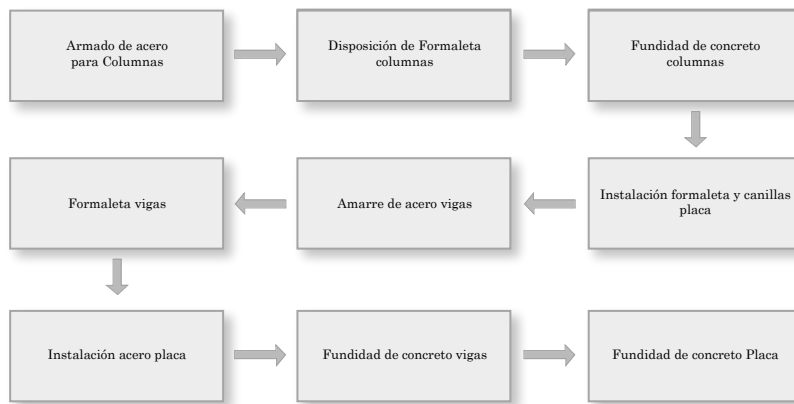


Fig. 9. Diagrama de flujo de trabajo. Fuente: Autores.

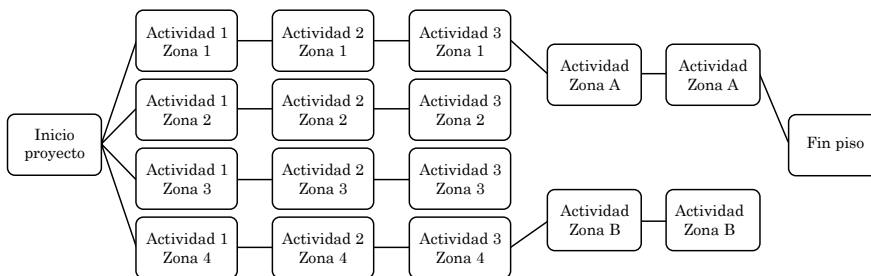


Fig. 10. Distribución de zonas en el proceso constructivo. Fuente: Autores.

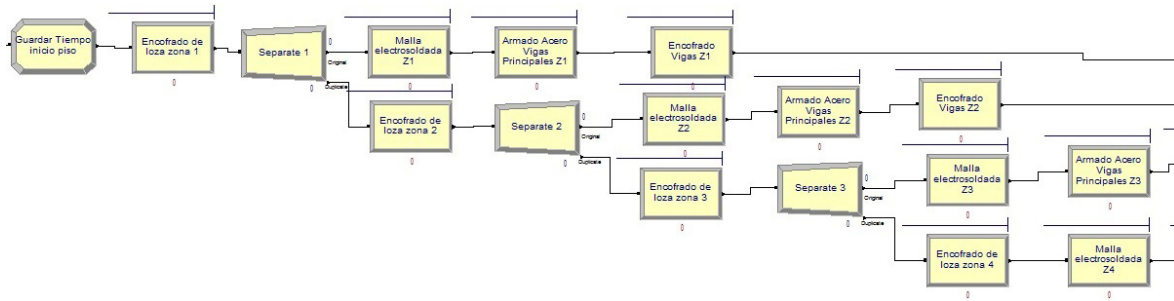


Fig. 11. Conceptualización del modelo.
Fuente: Autores.

TNCEncofrado (1)	$(7+1.98*BETA(0.506,0.524))*Porcentajes\ NC\ Form(1)*Binarias(1)$
TNCEncofrado (2)	$(7+1.98*BETA(0.506,0.524))*Porcentajes\ NC\ Form(2)*Binarias(2)$
TNCEncofrado (3)	$(7+1.98*BETA(0.506,0.524))*Porcentajes\ NC\ Form(3)*Binarias(3)$
TNCEncofrado (4)	$(7+1.98*BETA(0.506,0.524))*Porcentajes\ NC\ Form(4)*Binarias(4)$
TNCEncofrado (5)	$(7+1.98*BETA(0.506,0.524))*Porcentajes\ NC\ Form(5)*Binarias(5)$
TNCEncofrado (6)	$(7+1.98*BETA(0.506,0.524))*Porcentajes\ NC\ Form(6)*Binarias(6)$

TNCEncofrado(1)									
TNCEncofrado(1)+TNCEncofrado(2)									
TNCEncofrado(1)+TNCEncofrado(2)+TNCEncofrado(3)									
TNCEncofrado(1)+TNCEncofrado(2)+TNCEncofrado(3)+TNCEncofrado(4)									
TNCEncofrado(1)+TNCEncofrado(2)+TNCEncofrado(3)+TNCEncofrado(4)+TNCEncofrado(5)									
TNCEncofrado(1)+TNCEncofrado(2)+TNCEncofrado(3)+TNCEncofrado(4)+TNCEncofrado(5)+TNCEncofrado (6)									

Fig. 12. Ecuación del modelo para variación de los factores.
Fuente: Autores.

Luego de definir el orden de las actividades y la secuencia lógica de cada piso, se hizo la formulación de cada proceso teniendo en cuenta las distribuciones de tiempos calculados por cada actividad. En esta formulación se incluye la participación porcentual de cada proceso y se establecen los tiempos de los trabajos contributivos, productivos y no contributivos. La sumatoria de estos tiempos equivale al tiempo total por cada actividad que a su vez se va sumando con la secuencia de actividades para calcular el tiempo total por piso, y finalmente, al correr todo el modelo, el tiempo total de la obra. A continuación en la Fig. 12 se presenta un ejemplo de la formulación hecha en Arena para el cálculo de los tiempos totales por actividad y por zona.

C. Planteamiento de escenarios

A continuación se presentan los resultados del modelo, en los cuales se varió cada uno de los factores utilizando el vector binario mencionado anteriormente. Se plantearon siete escenarios, y en cada uno se eliminó uno de los factores para así ver individualmente el impacto de cada uno de ellos; también se planteó un escenario en el que se varió la afectación de los factores, no se eliminó pero sí se reduce su impacto.

Es importante aclarar que el clima, como factor no contributivo, se mantuvo siempre presente en todos los escenarios ya que es un factor que *no se puede controlar* a diferencia de los otros cinco factores hallados.

En el escenario 1 se eliminaron las esperas, dando como resultado una disminución del 10,8% con respecto al tiempo real de ejecución. Luego, en el escenario 2 al variar los desplazamientos se obtuvo un 12,5% menos de tiempo total; un resultado muy similar al del escenario 1. Siguiendo con la eliminación total de un factor específico, se planteó un escenario 3 donde se elimina por completo el ocio. En este escenario se obtuvo un 16% total en reducción de tiempo, lo cual es muy interesante ya que el ocio es un factor que puede ser controlado en la obra y que gracias a la simulación es evidente que aporta un gran porcentaje en las pérdidas de tiempos. En el escenario 4 se eliminó el factor de descansos y la disminución de tiempo bajó a sólo un 8,4%, que es casi la mitad de lo visto en el escenario anterior. En el escenario donde se eliminaron los reprocesos, escenario 5, sólo hubo una reducción del 1,3%, lo cual deja de ser interesante al compararse con los otros escenarios. A continuación, se presenta la Tabla III, donde de forma matricial se muestra cada escenario con sus respectivos escenarios:

TABLA III. ESCENARIOS CON CADA FACTOR.

Factores	Esc1	Esc2	Esc3	Esc4	Esc5	Esc6	Actual	Combinado
Esperas	0	1	1	1	1	0	1	0.5
Desplazamiento	1	0	1	1	1	0	1	0.2
Ocio	1	1	0	1	1	0	1	1
Descanso	1	1	1	0	1	0	1	0.8
Reprocesos	1	1	1	1	0	0	1	0.7
Mal clima	1	1	1	1	1	1	1	1
Tiempo total horas	992.4	973.1	934.9	1019.6	1097.6	581.2	1112.5	918.2
Tiempo por piso (h)	141.7	139.0	133.5	145.6	156.8	83.0	158.9	131.2
Disminución % tiempo total	10.8%	12.5%	16.0%	8.4%	1.3%	47.8%		17.5%
Días obra	124.1	121.6	116.9	127.5	137.2	72.7	139.1	114.8
Días por piso	17.7	17.4	16.7	18.2	19.6	10.4	19.9	16.4

Fuente: Autores.

El escenario 6 se propone como un proceso ideal que a su vez llega a ser irreal, ya que se establece que todos los factores menos el mal clima sean eliminados por completo. Este escenario limita todo el rango que existe de mejora, donde al plantear una reducción total de los factores no contributivos se lograría una disminución del 47.8% del tiempo total de la obra. Lograr una obra en la mitad de tiempo implicaría un ahorro económico gigantesco para una constructora. Finalmente, se plantea un último escenario donde se propone una disminución porcentual de cada factor. Esto representa un trabajo administrativo de mejoras donde, gracias a una buena planeación de los recursos de la obra, el manejo de materiales y la motivación del personal, se lograría disminuir parcialmente cada factor logrando mejoras significativas en los tiempos totales de la obra. En el escenario combinado se modifican los factores con reducciones entre el 20% y 50%, dejando el ocio con los valores actuales ya que en el escenario 3 se vio la importancia que este factor tiene. Con la disminución combinada se logró proponer un 17.5% de disminución del tiempo total de la obra, pasando de 19.9 días por piso a sólo 16.4 días, lo cual es una ganancia muy significativa. La estructura de este simulador permite variar los factores según las proyecciones de cada obra para prever si las acciones a implantar se justifican en cuanto a reducción de tiempos o no.

IV. DISCUSIÓN

En diferentes estudios realizados sobre el tema de productividad y la utilización de la simulación como

herramienta de análisis de información se ven resultados efectivos, de forma que se pueda predecir el comportamiento del sistema bajo ciertas condiciones y características especiales. Esto se ve reflejado en estudios como el realizado por [6] o como el realizado por [18], en el cual se plantea una metodología para disminuir personal, reduciendo así los costos asociados a estos recursos y optimizando el tiempo para disminuir la duración total del proyecto. Con respecto a los resultados obtenidos en la medición de tiempos por medio del método de muestreo de campo, se observan valores de tiempo productivo de 55.3%, contributivo de 22.9% y no contributivo de 21.8%, esto a su vez difieren de los arrojados en el trabajo de [6], donde el 31.2% es productivo, el 46.2% es contributivo y el 22.8% es no contributivo.

En el presente trabajo se hace énfasis en las actividades no productivas, ya que es el objeto de la investigación, y por medio de la simulación se identifica el comportamiento de éstas dentro del proceso productivo. En otras investigaciones se enfocan en los tiempos de duración de las actividades y en la distribución de los recursos y personal, se identifican las posibles causas de las pérdidas y se dan recomendaciones para disminuirlas (por ejemplo factores como la planeación, reorganizar el tema del desplazamiento por materiales, tener las herramientas adecuadas, mejorar el tema de seguridad industrial, entre otros), pero no se hace un análisis detallado del impacto y el comportamiento de los factores que afectan la productividad.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Después de realizar el análisis de la información se obtuvo que los factores identificados fueron: esperas de materiales y equipos, ocio, desplazamiento por traslado de material, reprocesos, descansos y mal clima.
- Los principales factores de acuerdo con la percepción de los trabajadores fueron:
 1. Estado de ánimo del trabajador y cansancio personal.
 2. Falta de recursos suficientes para desempeñar su labor.
 3. Demoras en el pago del salario.
 4. Reconocimiento de su trabajo.
 5. Mal trato por parte del jefe y clima laboral.
 6. La rutina.
 7. Cuando no llegan los materiales y se alarga la jornada.
 8. Cambio de labor de su especialidad.
- Luego de ver los resultados y de acuerdo con lo observado, se puede concluir que hay una clara falta de planeación en las obras y esto se ve reflejado durante el proceso de ejecución. Por ejemplo, los baños y el almacén implican pérdidas de tiempo significativas que se traducen en sobrecostos y retrasos en la programación. Realizar un análisis de *layout* puede minimizar este tipo de impactos, ya que se planea la logística para tener la menor cantidad de pérdidas por desplazamientos.
- A nivel general, los trabajadores presentan inconformidades con respecto a sus condiciones laborales dentro las obras donde trabajan; se observa que estos factores están directamente relacionados con la productividad en la ejecución de las actividades. Se podría profundizar en futuras investigaciones sobre el tema realizando las correlaciones que tienen estos factores motivacionales y su afectación específica en la productividad para así tener un modelo que incluya estos factores.
- La simulación digital permite ver alternativas y evaluar un proceso antes de su puesta en marcha, teniendo así datos de duración de los proyectos más acertados con la realidad, evitando sobrecostos y pérdidas en la etapa de ejecución y disminuyendo su nivel de incertidumbre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. D. Céspedes Henao, "Mejoramiento de la productividad en construcción : time-lapse y simulación digital como herramientas de análisis," Universidad de los Andes, Bogotá, 2010.
- [2] L. Koskela -, *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Labopratory for urban planning and building design, 1992.
- [3] A. Serpell and L. F. Alarcón, *Planificación y control de proyectos*. Ediciones Universidad Católica de Chile, 2009.
- [4] A. Gómez, "Simulación de procesos constructivos," *Revista ingeniería de construcción*, 2010.
- [5] L. F. Alarcon, S. Fuster, M. Mora, and D. Sossdorf, "Utilización de imágenes y videos digitales para el mejoramiento de la productividad y prevención de riesgos en operaciones de construcción," 2009.
- [6] A. Gómez, J. Echeverry, X. Giraldo, C. Ojalora, and M. L. Cano, "Mejoramiento de procesos constructivos a partir de un modulo programable para captura de imágenes y simulacion digital" *Rev. Ing. Construcción*, vol. 27, 2012.
- [7] CAMACOL, "Agenda Compet Marzo 2008," 2008. .
- [8] M. Radosavljević and R. M. W. Horner, "The evidence of complex variability in construction labour productivity," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 20, no. 1, pp. 3–12, Jan. 2002.
- [9] DANE, "Indicadores económicos alrededor de la construcción." 2014.
- [10] A. Enshassi, S. Mohamed, and S. Abushaban, "Factors affecting the performance of construction projects in the Gaza strip," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 15, no. 3, pp. 269–280, Jan. 2009.
- [11] J. Contreras, A. Gómez, and J. Castaño, "Balance de cuadrillas y flujo de trabajo como herramienta para el mejoramiento de procesos constructivos," *Revista Escuela Colombiana de Ingeniería*, no. 91, 2013.
- [12] L. fernando Botero and H. Acevedo, "Simulación de operaciones y línea de balance," *Ingeniería y ciencia*, pp. 29–45, 2011.
- [13] A. Gómez, M. Granados, and I. Pérez, "Improving construction material and equipment logistics via simulation," *Ing. Y Compet.*, vol. 17, no. 1, pp. 95–94, 2015.
- [14] S. Abourizk, "Role of Simulation in Construction Engineering and Management.," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 136, 2010.
- [15] L. F. Botero, *Construcción sin perdidas*, 2nd ed. 2006.
- [16] A. Cantú, J. Moreno, M. Gallina, and G. García, "Productividad real en obras civiles. Análisis de un caso," 2009.
- [17] D. Echeverry, H. Paez, and H. Mesa, "Simulación digital de procesos de construcción de estructura en concreto: casos de estudio práctico en Bogotá," *Revista ingeniería de construcción*, 2008.
- [18] A. Gomez, "Revista ingeniería de construcción - Simulación de procesos constructivos," *Rev. Ing. Construcción*, vol. 25, 2010.
- [19] M. E. Shehata and K. M. El-Gohary, "Towards improving construction labor productivity and projects' performance," *Alexandria Eng. J.*, vol. 50, no. 4, pp. 321–330, Dec. 2011.
- [20] A. Hammad, F. Vahdatikhaki, C. Zhang, M. Mawlana, and A. Doriani, "Towards the smart construction site: Improving productivity and safety of construction projects using multi-agent systems, real-time simulation and automated machine control," 2012, pp. 1–12.
- [21] S. AbouRizk, D. Halpin, Y. Mohamed, and U. Hermann, "Research in Modeling and Simulation for Improving Construction Engineering Operations," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 137, no. 10, pp. 843–852, Oct. 2011.
- [22] F. Berner, V. Kochkine, I. Habenicht, S. Spieckermann, and C. Vath, "Simulation in manufacturing planning of buildings," 2013, pp. 3306–3317.
- [23] A. Gómez, J. Avila, and N. Quintana, "Simulación de eventos discretos y líneas de balance, aplicadas al mejoramiento del proceso constructivo de la cimentación de un edificio," *Rev. Ing. y Cienc.*, vol. 11, no. 21, 2015.

Estrategias de Innovación Desarrolladas por los Centros de Investigación de las Universidades Públicas del Departamento de la Guajira, Colombia*

Innovation Strategies Developed by Research Centers in Public Universities of the Department of La Guajira, Colombia

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.03>

Artículo de Investigación Científica - Fecha de recepción: 20 de agosto de 2015 - Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2015

Lorena Esther Gómez Bermúdez

Doctor en Ciencia y Tecnología, Universidad de La Guajira. Riohacha (Colombia) lgomez@uniguajira.edu.co

Edilberto Rafael Santos Moreno

Magíster en Gerencia de Proyectos de Investigación, Universidad de La Guajira. Riohacha (Colombia) esantos@uniguajira.edu.co

Martha Josefina Castrillón Rois

Doctor en Ciencia y Tecnología, Universidad de La Guajira. Riohacha (Colombia) mcastrillon@uniguajira.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

L. E. Gómez Bermúdez, E. R. Santos Moreno y M. J. Castrillón Rois "Estrategias de Innovación Desarrolladas por los Centros de Investigación de las Universidades Públicas del Departamento de la Guajira, Colombia", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 32-41, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.03>

Resumen-- El propósito de este artículo es analizar las estrategias de innovación desarrolladas por los centros de investigación de las universidades públicas del Departamento de La Guajira, Colombia. La investigación es de tipo descriptivo, de diseño no experimental, transversal de campo. La población está conformada por la Universidad de La Guajira y la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. La técnica de recolección de datos fue la encuesta con escala tipo Likert. Para el análisis de la información se determinó la media, interpretada a través de baremos con rango establecidos. Los resultados permitieron conocer que las universidades objeto de estudio no tienen estrategias de innovación diseñadas, ya que realizan pocas actividades de investigación y desarrollo, son pocos los incentivos otorgados a los investigadores, la cultura organizacional existente no fomenta la creatividad e innovación y se presenta un bajo uso de tecnologías de información y comunicación. Por lo anterior, es necesario establecer estrategias de innovación como herramientas esenciales para generar ventajas competitivas y alcanzar el éxito de estas universidades.

Palabras clave-- Cultura organizacional; factor humano; investigación; innovación; universidades públicas.

Abstract-- The purpose of this article is to analyze the innovation strategies developed by the research centers of public universities in the department of La Guajira, Colombia. It is descriptive, not experimental, transversal design field; the population formed by the University of La Guajira and National Open University and Distance. The data collection technique was the survey with Likert For information analysis determined the average, interpreted through scales with established range scale. The results point to the universities under study have designed strategies of innovation, as they perform a few research and development, there are few incentives given to researchers, the existing organizational culture does not encourage creativity and innovation, it has a low use of information and communication technologies. Therefore, it is necessary to establish innovation strategies as essential tool to generate competitive advantages and success of these universities.

Keywords-- Organizational Culture, Human Factor; Research; Innovation; Public Universities.

* Artículo de Investigación Científica derivado del proyecto de investigación titulado "Innovación como Política Pública en los Centros de Investigación de las Instituciones Públicas de Educación Superior del Departamento de La Guajira." Financiado por el Centro de Investigación de la Universidad de La Guajira, Fecha inicio: febrero de 2013 - Fecha finalización: enero de 2015.



I. INTRODUCCIÓN

En este mercado globalizado de hoy, donde se emplea el conocimiento como factor clave para generar valor, se adoptan como eje principal la investigación y desarrollo como fuentes de innovación para alcanzar la competitividad y crecimiento sostenido de las organizaciones. Específicamente, las instituciones de educación superior deben renovar continuamente los procesos de docencia, investigación y proyección social para lograr un liderazgo y posicionamiento a nivel nacional e internacional.

Se resalta que cada día se presentan evidencias de la relación que existe entre el desarrollo tecnológico y el crecimiento económico de las regiones y de los países; desde esa perspectiva, se reconoce que la inversión en ciencia, tecnología e innovación ha sido una de las fuentes más importantes de la transformación económica y tecnológica que han contribuido a dinamizar y acelerar la transformación productiva del país [1].

Las instituciones de educación superior, para cumplir con el proceso de docencia, investigación y proyección, deben jugar un papel fundamental como organizaciones innovadoras en la producción y transferencia de conocimientos así como de tecnología, donde la innovación constituya el eje de una nueva cultura académica; sin embargo, en la investigación titulada *Innovación y productividad científica en los institutos universitarios de tecnología de la región andina de Venezuela*, realizada por [2], pone en evidencia la ausencia de políticas y estrategias de innovación que refuercen su compromiso social, calidad, pertinencia y responsabilidad como factores impulsores del éxito.

Se considera que en las universidades no existen políticas internas que impulsen el desarrollo de la Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), tampoco se han diseñado mecanismos eficientes de transferencia de conocimiento generado del quehacer investigativo, por lo cual existe una escasa difusión de resultados de investigación que permita generar nuevos conocimientos sobre la base de los ya existentes; asimismo, se presenta duplicidad de los trabajos de investigación, ya que no existe una base de datos permanentemente actualizada. También es poca la información que tiene el sector productivo acerca de la función y de lo que producen los centros de investigación de las instituciones de educación superior; ese conocimiento, permitiría a las universidades conocer las necesidades del sector empresarial y productivo [3].

Concretamente, las universidades públicas del Departamento de La Guajira están sometidas a una crisis presupuestaria que se evidencia en retrasos en los depósitos de las asignaciones monetarias por parte de la administración departamental y nacional, lo que implica la contracción de los recursos económicos dirigidos a desarrollar I+D+I,

impidiendo además, la posibilidad de otorgar estímulos a los investigadores pertenecientes a grupos avalados por las universidades y categorizados por COLCIENCIAS.

Además, en estas instituciones universitarias no se han diseñado políticas internas de financiación de las actividades de I+D+I y tienen una débil infraestructura tecnológica para el desarrollo de este tipo de actividades debido a que no se tienen establecidas estrategias de innovación e investigación.

Se sustenta entonces la intención de realizar una investigación cuyo objetivo sea analizar las estrategias de innovación utilizadas por los centros de investigación constituidos dentro de las instituciones públicas de educación superior del Departamento de La Guajira, Colombia, sobre la base de las ideas expuestas y atendiendo la política educativa del gobierno colombiano, cuyo objetivo es transformar el sistema educativo en magnitud y pertinencia para garantizar la competitividad del país, conseguir una mejor calidad de vida y mayor equidad, teniendo claro que esta transformación se logra a través de las universidades, las cuales de manera permanente deben constituir alianzas estratégicas estado-universidad-empresa.

Se espera que los resultados de este estudio sean de gran utilidad a las instituciones del sector para implementar planes de mejoramiento en sus procesos de investigación y proyección social a fin de incrementar su eficiencia, eficacia y efectividad, así como de asegurar su proceso de desarrollo científico-tecnológico.

II. REVISIÓN LITERARIA

A. Estrategias de innovación

Una de las funciones misionales e importantes en las universidades es la investigación, ya que por medio de ella se genera nuevo conocimiento y se busca la aplicabilidad de ese conocimiento a la solución de los problemas del entorno social.

La investigación que contribuya a resolver problemas de índole político, económico y social, un recurso humano altamente calificado y la implementación de nuevos laboratorios y equipo tecnológico son fundamentales para la competitividad de las universidades.

La referencia [4] sostiene que una universidad, para que sea considerada como innovadora, debe cumplir con algunas condiciones (personal con competencias para realizar I+D, infraestructura, capacidad instalada, entre otros) que hagan énfasis en las características propias de la institución, en las actividades que se llevan a cabo dentro de ella, en la manera cómo se financia y los resultados que se obtienen a través de sus grupos de investigación.

En las instituciones con experiencia en gestión científica y tecnológica de investigación universi-

taria, los esfuerzos deben encaminarse a diseñar y proponer una estrategia que permita incrementar la actividad científica; el reto lo constituye organizar la actividad mediante una estructura que permita poner en marcha esa estrategia, de tal forma que los profesores puedan desarrollar sus actividades de docencia y de igual forma preparar, presentar y ejecutar proyectos de investigación con recursos de financiación nacionales e internacionales que permitan resultados científicos y tecnológicos que impacten a la sociedad [5].

Por lo anterior, es necesario que en las universidades se establezcan estrategias de innovación para generar ventajas competitivas y alcanzar su máximo desarrollo. Estrategia que se puede definir en términos de lo que puede hacer una institución educativa; es decir, sus fortalezas y debilidades, así como las posibilidades que tiene como organización generadora de conocimiento. De la misma manera, la referencia [2] sostiene que la estrategia es un plan que se propone dotar a la institución de una ventaja competitiva sobre las instituciones del mismo sector a través de la diferenciación.

Desde esa perspectiva, se puede afirmar que las estrategias son acciones potenciales que requieren decisiones de la alta dirección y recursos por parte de las instituciones universitarias para conseguir los objetivos establecidos, es decir, ordenar los recursos para ser más eficientes así como más competitivas [6].

El mismo autor afirma, que se deben diseñar estrategias de innovación para incrementar tanto la competitividad como la rentabilidad de las instituciones de educación superior mediante el fomento de la innovación y la mejora continua de la calidad de los servicios suministrados a los usuarios. La innovación es considerada como una actividad que crea tanto valor social como económico, poniendo en juego un proceso de aprendizaje colectivo en el que se intercambia y se crea conocimiento entre las personas de la organización y de su entorno [7].

Desde ese aspecto, existe una serie de factores internos y externos implícitos en la determinación de la misión y objetivos que afectan la formulación de una estrategia de innovación en cualquier nivel de las instituciones universitarias [6]. En primer lugar, la estrategia debe tratar de aprovechar las oportunidades y neutralizar las amenazas del entorno analizando las fuerzas externas que influyen potencialmente en la institución.

En segunda instancia, se debe sopesar la totalidad de recursos disponibles y valorar de manera objetiva las fortalezas y debilidades en relación con las demás instituciones del mismo sector.

En tercer lugar, se debe tomar en cuenta la historia de las instituciones y su forma de responder ante los compromisos adquiridos; toda comprensión del futuro se origina en la reflexión y en una mirada al pasado.

En cuarto lugar, las ambiciones, las actitudes hacia el riesgo y los principios éticos de los directivos ejercen una fuerte influencia en la determinación de la estrategia de innovación.

En quinto lugar, para la formulación de la estrategia se consideran los grupos de interés, *stakeholders*, es decir, aquellos capaces de afectar o ser afectados por los objetivos, estrategias y prácticas, que en mayor o menor grado deben ser satisfechos. Estos grupos, internos o externos a la institución, están constituidos por los docentes, administrativos, directivos, estudiantes, proveedores, gobierno, sindicatos, comunidades locales, organizaciones no gubernamentales, entre otros.

Finalmente, en sexto lugar, la estrategia es afectada por la cultura organizacional, creencias y supuestos básicos compartidos por los miembros de la institución universitaria. Este factor puede convertirse en un propiciador básico del impulso innovador y potenciar la estrategia o, por el contrario, entorpecer su funcionamiento; en consecuencia, la cultura estimula la producción de resultados.

Una estrategia correctamente formulada, tomando en cuenta los seis aspectos descritos anteriormente, e implementada de manera eficaz y eficiente, proporcionará beneficios elevados con el consiguiente valor agregado, satisfacción de los estamentos universitarios y respaldo a la labor de los directivos.

Por otro lado, se considera que para desarrollar con éxito la estrategia de innovación es necesario determinar las capacidades disponibles en la institución con sus posibilidades de ampliación, seleccionar y planificar el accionar en el proceso de investigación, docencia y proyección social. Se trata de un conjunto de estrategias relacionadas entre sí; en primera instancia, una estrategia basada en conocimientos y capacidades para mejorar el logro de los objetivos de las instituciones [7].

Desde esa perspectiva, los centros de investigación de las instituciones de educación superior deben diseñar estrategias que generen planes de innovación que promuevan la producción y generación de conocimiento a través de la ejecución de proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Para lograr esto, es fundamental contar con un equipo humano con alto nivel de formación dedicado a la investigación científica y tecnológica que trabaje en red, abriendo camino para el logro de un desarrollo sostenible acorde con la biodiversidad del país y buscando aprovechar las oportunidades económicas y socio-culturales que presenta día a día el mundo globalizado.

Teniendo en cuenta los anteriores planteamientos, las estrategias pueden considerarse como acciones potenciales que requieren decisiones de la alta dirección y la asignación de recursos por parte de las organizaciones, entre estas las instituciones de educación superior y específicamente los centros

de investigación, lo que permitirá cumplir con sus funciones y alcanzar los objetivos propuestos.

En función de lo expuesto, resulta acertado vincular la estrategia de innovación en las instituciones de educación universitaria considerando como dimensiones: el desarrollo de actividades de investigación y desarrollo (I+D), las habilidades y capacidades del capital humano, la cultura organizacional y las tecnologías de información y comunicación (TIC), elementos que permiten alcanzar el logro de los objetivos trazados y crear valor social ampliando los límites del conocimiento en los centros de investigación de las instituciones de educación superior.

B. Desarrollo de actividades de investigación y desarrollo (I+D)

La realización de actividades internas de I+D ha sido una de las estrategias clásicas de innovación y representa un mecanismo por excelencia para organizar y dirigir los procesos innovadores en las instituciones. Según el autor, el desarrollo de actividades internas de I+D, como estrategia de innovación, ha sido un tema ampliamente abordado en la literatura [8].

De hecho, la totalidad de la investigación y desarrollo se considera como una actividad de innovación e incluye los trabajos de creación emprendidos con el fin de incrementar la suma de conocimientos, así como su utilización para concebir nuevas aplicaciones [9]. Estos patrones han evolucionado desde el establecimiento de grandes laboratorios corporativos de I+D, hasta la externalización de dichas actividades a través de la subcontratación con otras instituciones.

En esta línea uno de los aspectos más estudiados han sido los factores que determinan la decisión de las organizaciones de llevar a cabo actividades de I+D, y más concretamente, los elementos que influyen en el nivel de inversión en dichas actividades. En ese sentido, las universidades exclusivas de investigación y desarrollo, cuentan con recursos humanos de alto nivel y con una alta dedicación a investigación y desarrollo que compilan la investigación en laboratorios, institutos, centros y programas de investigación y escuelas de doctorado [5].

Según [10], la I+D puede abarcar distintos tipos de actividades:

- Investigación básica o fundamental, es decir, trabajos teóricos o empíricos para obtener un mayor grado de conocimiento de los fundamentos de los fenómenos y hechos observables, pero sin aplicación práctica inmediata.
- Investigación aplicada, la cual consiste en trabajos originales para adquirir un grado de conocimiento pero tiene siempre una misión práctica, aunque sea a largo plazo.

- Desarrollo experimental, el cual se trata de trabajos sistemáticos de profundización en los conocimientos existentes derivados de la investigación o la experiencia práctica dirigidos a la producción de nuevos materiales o productos, al establecimiento de nuevos productos o servicios, o a la mejora sustancial de los ya producidos o implantados.

Lo anterior, teniendo en cuenta que la función de la investigación científica no consiste únicamente en crear conocimientos científicos sino en aplicarlos en beneficio de toda la sociedad. En ese sentido, el rol de la educación superior es esencial para crear la capacidad intelectual de producir y utilizar conocimientos para el aprendizaje permanente, para actualizar conocimientos y habilidades que conlleven a la generación de innovaciones, cuestiones de importancia en una sociedad en la que el conocimiento es el principal motor de desarrollo y crecimiento económico. La ciencia debe cumplir con esa función social, los investigadores tienen el compromiso de poner la evidencia científica al servicio de todos los seres humanos [11].

Lo anteriormente señalado, permite apreciar las razones por las cuales resulta importante analizar el desarrollo de actividades de I+D como dimensión de las estrategias de innovación en el contexto de las universidades.

C. Capital humano

El capital humano es un creador de valor económico a través de su proceso intelectual y de los conocimientos adquiridos y capitalizados en alguna actividad productiva [12]. Por otro lado, el capital humano se puede considerar como la combinación de competencia y compromiso de los empleados de la organización para llevar a cabo la tarea que recae bajo su responsabilidad. Establece una clara relación entre la competencia y el conocimiento tácito y explícito, mientras que el compromiso se asocia con la motivación de los trabajadores para llevar a cabo las actividades que le fueron asignadas [6].

El capital humano constituye uno de los factores determinantes para la obtención de valor agregado en las organizaciones. Este valor se potencia cuando el conocimiento se coloca en función del logro de los objetivos de la organización. El capital humano depende en gran medida de la capacidad de las organizaciones para desarrollar y aprovechar el conocimiento [13].

Si la organización cuenta con un capital humano suficientemente calificado para llevar a cabo proyectos de innovación, entonces decidirá generar internamente la innovación [14]. Del capital humano parte el conocimiento, las habilidades, los valores y el potencial innovador de la organización, entre otros elementos. La gestión de dicho capital requiere de una atención muy especial que supone la capacidad

de los directivos de identificar, medir, desarrollar y renovar el activo intangible para el futuro éxito de la organización. De ahí que el desarrollo económico de una organización, depende en gran medida de la creatividad de su capital humano para imaginar cosas nuevas, de su habilidad para buscar una aplicación práctica a esas cosas nuevas y de su capacidad para dar a conocer esas cosas nuevas en el mercado. Es importante que previo a tomar decisiones clave como lo es desarrollar innovaciones en la organización, se considere si se cuenta con capital humano suficientemente calificado para llevar a cabo proyectos de innovación [15].

Los planteamientos anteriores, dejan entrever la necesidad de que las organizaciones, tanto públicas como privadas, inviertan en la formación del recurso humano para alcanzar la eficiencia y eficacia de sus empleados en el logro de la mayor productividad y competitividad. Las instituciones de educación superior, como entes generadores de conocimiento deben invertir recursos en la formación de alto nivel de sus docentes e investigadores para que puedan adquirir las habilidades y competencias necesarias para desarrollar innovaciones en sus funciones, incrementando así la competitividad de estas organizaciones.

Lo anteriormente señalado, permite apreciar la importancia y la necesidad que tienen las universidades de contar con un capital humano con competencias para la realización de actividades de I+D que propicie la generación de innovación en los procesos de investigación, docencia y proyección social.

D. Cultura organizacional

Las instituciones están compuestas de personas que viven en ambientes complejos y dinámicos, lo que genera comportamientos diversos que influyen en el funcionamiento de los sistemas, y que se organizan en grupos y colectividades. El resultado de esta interacción media en el ambiente que se respira en la organización, entre ellas las instituciones de educación superior, de ahí la importancia de analizar el término cultura organizacional y tomarlo como un importante elemento que determina la forma de interacción de los miembros de una institución [16].

La cultura organizacional es el conjunto de suposiciones, creencias, valores y normas que comparten los miembros de las instituciones [17]. Otros autores consideran la cultura organizacional como una forma de vida, un conjunto de creencias y valores, una manera aceptada de interactuar y relacionarse en una determinada organización [18]. También se refiere a un sistema de significados compartidos entre sus miembros [19].

Los mencionados autores consideran que la cultura reviste importancia cuando está relacionada con la innovación. Sostener un ambiente que fomente la creatividad de nuevas e innovadoras ideas no es una tarea fácil, se requiere apoyar las actividades

de innovación en los elementos organizacionales filosóficos, tales como los valores, las creencias, las motivaciones, el trabajo en equipo, la estructura de las organizaciones, las funciones y las normas de la institución. Desde una visión más amplia, la cultura no sólo incluye valores, actitudes y comportamientos, sino también las estrategias y las acciones que en conjunto funcionan como un sistema dinámico [20].

Por lo anterior, las instituciones de educación superior, para desarrollar innovaciones y ser competitivas, sólo tienen dos caminos: el primero es asumir la innovación, a pesar de los riesgos que se toman, y segundo, hacerla parte de su cultura, de su forma de ser. Para facilitar los procesos de innovación, se requiere que exista una cultura innovadora que genere un clima organizacional que estimule la creatividad en los empleados, pero para ello se necesita el esfuerzo de todos los trabajadores dentro de las instituciones [21]. Del análisis de diferentes definiciones se puede inferir que los distintos autores coinciden en afirmar que la cultura tiene elementos afines que comparten e identifican a una institución, haciendo que en sus miembros se fomente la creatividad e innovación y se profesen las mismas normas, valores, filosofías, reglas, lenguaje, ideologías, actitudes, mitos y ceremonias, entre otros.

Cabe de anotar que las instituciones de educación superior, como organizaciones formales, tienen un sistema de tareas bien definidas, cada una de las cuales lleva en sí misma una cantidad específica de autoridad y responsabilidad por parte de los actores, y estos tienen un determinado comportamiento, se asocian en agrupaciones particulares, respetan líneas de autoridad y establecen canales de comunicación entre sus miembros; son instituciones en las cuales la cultura organizacional es uno de los pilares fundamentales para el logro de los objetivos de cada facultad y programa de la institución. Esto se convierte en un motivo para incluirla como una importante dimensión para analizar las estrategias de innovación.

E. Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC)

La incorporación de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) en el mundo ha suscitado un proceso de unificación en la comunicación sin precedentes que ha afectado a las actividades y saberes de la humanidad. Por medio de ellas se han creado espacios virtuales que propician que las personas intercambien, interactúen y generen conocimientos. Es a partir de esta tendencia que surge la relevancia de analizar las formas como se está llevando a cabo el uso de estas tecnologías en todos los ámbitos, pero particularmente en el medio universitario [22].

El Estado colombiano, mediante la Ley 1341 de 2009, reconoce que el acceso y uso de las TIC, el despliegue, uso eficiente de la infraestructura, el desa-

rollo de aplicaciones, la protección a los usuarios, la formación de talento humano en estas tecnologías y su carácter transversal son pilares para la consolidación de las sociedades de la información. Se reconoce que la universidad como una organización de conocimiento debe dinamizar sus procesos mediante la incorporación y uso de las TIC [23].

En la gestión de la investigación, las TIC facilitan, de una parte, el trabajo colaborativo a través de la comunicación sincrónica o asincrónica entre los miembros de un grupo de investigación o entre grupos a nivel nacional o internacional; por otro lado, facilitan la comunicación de los resultados de investigación y su accesibilidad a la comunidad en general y a las comunidades científicas en particular, lo cual puede hacerse a través de la publicación de los resultados de investigación [24].

Para hacer buen uso de estas importantes herramientas tecnológicas, las nuevas tecnologías no deben ser calificadas sólo como meros instrumentos o medios, deben ser consideradas más bien como un nuevo ambiente que incluye todo dentro de sí. Se constituyen en un soporte fundamental de las estrategias competitivas y de la modernización de las organizaciones del sector universitario [25]. Teniendo en cuenta que las TIC se consideran como uno de los pilares básicos de las organizaciones y la sociedad en general, es importante considerarla como una de las estrategias de innovación en los centros de investigación de las instituciones de educación superior.

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación, la variable *estrategias de innovación* se opera a través de las dimensiones: Desarrollo de actividades de I+D, Capital humano, Cultura organizacional y Tecnologías de Información y Comunicación (Tabla I).

TABLA I. CUADRO DE OPERACIÓN DE LA VARIABLE

Variable	Dimensiones	Indicadores
Estrategias de Innovación	Desarrollo de actividades de I+D	Personal disponible
		Presupuesto
		Incentivos
	Capital humano	Conocimiento
		Estímulos a investigadores
	Cultura organizacional	Valores organizacionales
		Trabajo en equipos
		Clima organizacional
	Tecnologías de Información y Comunicación	Uso para redes de conocimiento
		Herramienta para actividades de innovación

Fuente: Autor

El tipo de estudio fue descriptivo de diseño no experimental, transeccional y de campo. La población está conformada por los centros de investigación de las instituciones públicas de educación superior del Departamento de La Guajira, Colombia: Universidad de La Guajira y Universidad Nacional Abierta y a Distancia, tomando como unidades de información a los vicerrectores de investigación, los directores de investigación y las personas con características de líderes de los grupos de investigación, para un total de 45 personas.

El instrumento utilizado para la recolección de datos fue un cuestionario con escala de Likert, el cual fue diseñado dividiendo cada pregunta en cinco (5) posibles alternativas de respuesta, como son: Totalmente de acuerdo (TA), Medianamente de acuerdo (MA), Ni de acuerdo ni en desacuerdo (NAND), Medianamente en desacuerdo (MD), Totalmente en desacuerdo (TD), a las cuales se les asignó una calificación del 1 al 5 para una mejor tabulación de las respuestas, tal como se aprecia en la Tabla II.

TABLA II. VALOR ESTABLECIDO PARA CADA OPCIÓN DE LA ESCALA LIKERT

Escala de Likert	Opción	Valor
Totalmente de acuerdo	TA	5
Medianamente de acuerdo	MA	4
Ni de acuerdo ni en desacuerdo	NAND	3
Medianamente en desacuerdo	MD	2
Totalmente en desacuerdo	TD	1

Fuente: Autor

Para el análisis de cada una de las dimensiones e indicadores se decidió utilizar los parámetros establecidos en la estadística descriptiva, en la cual se emplea la media como medida de tendencia central. Para la interpretación de los estadísticos descriptivos y elaboración de las tablas de resultados, así como para la interpretación de la media, fueron utilizados baremos, como se presenta en la Tabla III.

TABLA III. ANÁLISIS DE LA MEDIA

Media		
Rango	Intervalo	Categoría
5	$4,20 < \bar{x} \leq 5,00$	Muy alto nivel
4	$3,4 < \bar{x} \leq 4,20$	Alto nivel
3	$2,60 < \bar{x} \leq 3,40$	Moderado nivel
2	$1,80 < \bar{x} \leq 2,60$	Bajo nivel
1	$1,00 \leq \bar{x} \leq 1,80$	Muy bajo nivel

Fuente: Autor.

IV. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos al analizar las estrategias de innovación desarrolladas en los centros de investigación de las universidades objeto de estudio.

A. Dimensión: Desarrollo de actividades de I+D

En la Tabla IV se presentan los resultados obtenidos para la dimensión *Desarrollo de Actividades de I+D*, específicamente en el indicador *Personal disponible* los resultados demuestran que el 67% de las unidades de información expresaron que están medianamente en desacuerdo sobre el hecho de que haya disponibilidad de personal con las competencias necesarias para el desarrollo de actividades de I+D; el 15% está ni de acuerdo ni en desacuerdo, el 9% está totalmente de acuerdo, el 7% está totalmente en desacuerdo y el 2% está medianamente de acuerdo.

Haciendo referencia a la media se observa que ésta arrojó un resultado de 2.4, ubicándola en una categoría de bajo nivel de acuerdo con el baremo de medición previamente establecido; esto indica que hay un bajo nivel de personal disponible con las competencias necesarias para el desarrollo de actividades de I+D.

Tomando en consideración los resultados del indicador *Presupuesto* se observa que la alternativa con mayor número de respuestas es Medianamente en desacuerdo con un 56%, seguida de Ni de acuerdo ni en desacuerdo con un 18%, lo cual indica que de manera baja se destina presupuesto para las actividades de I+D. En cuanto a la media, se observa un valor de 2.42, ubicándola en la categoría de bajo nivel según el baremo de medición previamente establecido.

Respecto al indicador *Incentivos*, se puede observar que la alternativa con mayor número de respuestas es Medianamente en desacuerdo con un 44%, seguida de Ni de acuerdo ni en desacuerdo con un 16% y Totalmente en desacuerdo con un 15%, mostrando que de manera baja se incentiva al personal para el desarrollo de actividades de I+D. En cuanto a la media, se puede ver que refleja un valor de 2.68, ubicándola en la categoría de moderado nivel según el baremo de medición previamente establecido. Los resultados anteriormente descritos indican un valor de la media para la dimensión *Desarrollo de actividades de I+D* de 2.5, lo que refleja un bajo nivel en el desarrollo de este tipo de actividades en los centros de investigación de las universidades objeto de estudio.

B. Dimensión: Capital humano

En la Tabla V, se presentan los resultados obtenidos para la dimensión *Capital humano*; con referencia al indicador *Conocimiento*, el 35% de los sujetos encuestados indicaron que están medianamente en desacuerdo en que se aprovechan los conocimientos del talento humano, mientras que el 33% expresó estar totalmente de acuerdo y el 16% manifestó estar medianamente de acuerdo. En cuanto a la media, los resultados muestran un valor de 3.15, correspondiente a la categoría de moderado nivel según el baremo de medición previamente establecido.

En relación con el indicador *Estímulos a investigadores*, el 33% de los sujetos encuestados indicaron que están medianamente de acuerdo en que se otorga estímulos a los investigadores por su aporte a la CTeI, el 29% está totalmente de acuerdo y el 22% esta medianamente en desacuerdo.

TABLA IV. ESTADÍSTICOS PARA LA DIMENSIÓN DESARROLLO DE ACTIVIDADES DE I+D

Indicadores	TA		MA		NAND		MD		TD		Media
	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	
Personal disponible	4	9%	1	2%	7	15%	30	67%	3	7%	2.4
Presupuesto	2	5%	5	11%	8	18%	25	56%	5	11%	2.42
Incentivos	6	13%	5	11%	7	16%	20	44%	7	15%	2.68
Total											2.5

Fuente: Autor.

TABLA V. ESTADÍSTICOS PARA LA DIMENSIÓN CAPITAL HUMANO

Indicadores	TA		MA		NAND		MD		TD		Media
	Fa	Fr	Fa	FR	Fa	Fr	FA	FR	Fa	Fr	
Conocimiento	15	33%	7	16%	3	7%	16	35%	4	9%	3.28
Estímulos a investigadores	13	29%	15	33%	0	%	10	22%	7	16%	3.37
Total											3.33

Fuente: Autor

En cuanto a la media, los resultados demuestran un valor de 3.37, correspondiente a la categoría de moderado nivel según el baremo de medición previamente establecido. Los resultados descritos muestran que la dimensión *Capital humano* obtuvo un valor de la media de 3.33, lo que indica un moderado nivel, según el baremo establecido, reflejando que de manera moderada se tiene en cuenta la importancia del talento humano para generar innovaciones en los procesos desarrollados por los centros de investigación de las universidades objeto de estudio.

C. Dimensión: Cultura organizacional

En la Tabla VI, se presentan los resultados obtenidos de la dimensión *Cultura organizacional*. Se observa que para el indicador *Valores organizacionales* el 67% de los sujetos encuestados indicaron estar medianamente en desacuerdo en que se promueve la internalización de los valores organizacionales entre sus miembros, mientras que el 29% indicó estar ni de acuerdo ni en desacuerdo y el 4% manifiesta estar totalmente en desacuerdo. En cuanto a la media, los resultados muestran un valor de 2.24, correspondiente a la categoría de bajo nivel según el baremo de medición previamente establecido.

En referencia al indicador *Trabajo en equipo* se puede observar que el 56% de los encuestados está de acuerdo en que se promueve el trabajo en equipo de los investigadores, el 40% está medianamente de acuerdo y sólo el 4% está totalmente de acuerdo. La media de este indicador obtuvo un valor de 2.93, ubicándose en la categoría de moderado nivel según el baremo de medición diseñado.

D. Dimensión: Tecnologías de Información y Comunicación

En la Tabla VII, se presentan los resultados obtenidos para la dimensión *Tecnologías de Información y Comunicación*; específicamente, para el indicador *Uso para redes de conocimiento* el 64% de los sujetos encuestados indicaron estar medianamente en desacuerdo en que se promueve el uso de las TIC para realizar contactos con redes de conocimiento, mientras que el 31% indicó estar ni de acuerdo ni en desacuerdo y el 4% manifiesta estar totalmente en desacuerdo. En cuanto a la media, los resultados muestran un valor de 2.3, correspondiente a la categoría de bajo nivel según el baremo de medición previamente establecido.

Con respecto al indicador *Herramienta para actividades de innovación* se muestra que el 56% de los sujetos encuestados manifestaron estar medianamente en desacuerdo en que se promueve el uso de las TIC como herramientas para el desarrollo de actividades de innovación. Para este indicador se obtuvo un valor de la media de 2.8, reflejándose un moderado nivel según el baremo de medición previamente establecido.

Los resultados obtenidos en la dimensión *Tecnologías de Información y Comunicación*, muestran que tiene un valor de la media de 2.5, lo que indica un bajo nivel, según el baremo establecido. Esto refleja que de manera baja se promueve el uso de las TIC como herramienta fundamental para establecer estrategias de innovación en los centros de investigación de las universidades objeto de estudio.

TABLA VI. ESTADÍSTICOS PARA LA DIMENSIÓN CULTURA ORGANIZACIONAL

Indicadores	TA		MA		NAND		MD		TD		Media
	fa	fr	fa	fr	Fa	fr	Fa	Fr	fa	fr	
Valores organizacionales	0	0%	0	0%	13	29%	30	67%	2	4%	2.24
Trabajo en equipo	2	4%	18	40%	0	0%	25	56%	0	0%	2.93
Clima organizacional	8	18%	20	44%	7	16%	10	22%	0	0%	3.57
Total											2.91

Fuente: Autor

TABLA VII. ESTADÍSTICOS PARA LA DIMENSIÓN TIC

Indicadores	TA		MA		NAND		MD		TD		Me
	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	Fa	Fr	
Uso para redes de conocimiento	0	0%	0	0%	14	31%	29	64%	2	4%	2.3
Herramienta para actividades de innovación	0	0%	18	40%	0	0%	27	56%	0	0%	2.8
Total											2.5

Fuente: Autor

En la Tabla VIII, se observan los resultados de los indicadores correspondientes a la variable estrategias de innovación, la cual obtuvo un valor para la media de 2.81, ubicándose en una categoría de *moderado nivel*.

TABLA VIII. ESTADÍSTICO DE LA
VARIABLE ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN.

Dimensiones	Media	Categoría
Desarrollo de Actividades de I+D	2.5	Bajo nivel
Capital humano	3.33	Moderado nivel
Cultura organizacional	2.91	Moderado nivel
Tecnología de Información y Comunicación	2.53	Bajo nivel
Total	2.81	Moderado nivel

Fuente: Autor

La consideración en conjunto de las dimensiones correspondientes a la variable *Estrategias de innovación* se presenta en la Tabla VIII, donde se observa que la variable se ubica en la categoría de moderado nivel con una media aritmética de 2.81.

Estos resultados dejan entrever, de acuerdo con las respuestas de los individuos encuestados, que la variable *Estrategias de innovación* posee un moderado nivel en cuanto al capital humano y la cultura organizacional y un bajo nivel de desarrollo de actividades de I+D y de uso de las Tecnologías de Información y Comunicación. Esto indica que en los centros de investigación de las universidades públicas no se están diseñando estrategias efectivas de innovación que propicien el incremento tanto de la competitividad como de la rentabilidad de las organizaciones mediante el fomento de la innovación y la mejora continua de la calidad de los servicios y productos que se generan en este tipo de organizaciones.

Los resultados anteriormente descritos no son acordes con los planteamientos realizados por algunos autores que sugieren como estrategias de innovación las dimensiones analizadas, ya que éstas no se están desarrollando de manera eficaz, convirtiéndose en barreras que disminuyen las posibilidades de innovación de los centros de investigación objeto de estudio.

En cuanto al desarrollo de actividades de I+D, la referencia [8] expresa que estas actividades constituyen una estrategia fundamental de innovación y representan un mecanismo por excelencia para organizar y dirigir los procesos innovadores en la empresa. Por otra parte, señala [14] que si las organizaciones cuentan con un capital humano altamente calificado con competencias para desarrollar a cabo proyectos de innovación, entonces decidirá llevar a cabo procesos de innovación; también [7] sostiene que una estrategia debe basarse en el conocimiento del talento humano para mejorar el logro de los objetivos de la organización.

En referencia a la cultura innovadora, para que ésta exista, afirma [21], es necesario que se genere un clima organizacional que estimule la creatividad y se lideren procesos innovadores, y para ello se necesita el esfuerzo de todos los trabajadores dentro de la organización.

En cuanto a las TIC, [25] expresa que éstas desempeñan un papel funcional y de soporte a las estrategias competitivas de las organizaciones; sin embargo, en los centros de investigación no se están considerando como uno de los factores básicos de la innovación.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados obtenidos en la investigación realizada dirigida a analizar las estrategias de innovación desarrolladas en los centros de investigación de las universidades públicas del Departamento de La Guajira, permiten señalar que existe una moderada presencia de estrategias de innovación en los centros de investigación de las universidades públicas del Departamento de La Guajira, siendo el aspecto más favorecido el capital humano existente y la cultura organizacional, mientras los aspectos menos favorecidos son la Tecnología de Información y Comunicación utilizada y el desarrollo de actividades de I+D.

Se pudo observar que los centros de investigación de las universidades públicas del Departamento de La Guajira cuentan con escaso personal con las competencias necesarias para el desarrollo de actividades de I+D, destinan poco presupuesto y los investigadores se sienten poco incentivados para el desarrollo de este tipo de actividades, pues se otorgan mínimamente estímulos al personal dedicado a la investigación por su aporte a la CTeI, así se aprovechan moderadamente los conocimientos del talento humano.

Del mismo modo se observa que de manera moderada se tiene una cultura en la organización que podría contribuir al fomento de la innovación de los investigadores.

Además, se promueve poco el uso de las TIC como herramienta para el desarrollo de actividades de innovación y para realizar contactos con redes de conocimiento, constituyéndose esto en una barrera de comunicación entre los grupos de investigación y con otras universidades.

Por lo anterior, se recomienda realizar un seguimiento continuo a los procesos desarrollados en los centros de investigación con el propósito de establecer estrategias de innovación.

Concretamente, se requieren acciones de la alta dirección que busquen fomentar el mejoramiento continuo de los servicios que presta. Es necesario potenciar las actividades ligadas a la I+D+I que sean generadoras de avances sociales y, que de esta forma, se conviertan en incremento de calidad de vida de la zona de influencia de las universidades.

Se requiere llevar a cabo investigación aplicada mediante la generación de materiales y productos, cuyo objetivo principal sea resolver problemas de las empresas de la región.

Desde esa perspectiva, es necesario que se establezca un plan de capacitación para el fomento de la formación de investigadores con el fin de incrementar sus capacidades en CTI. Inicialmente, se debe realizar un análisis riguroso de los requerimientos de las áreas específicas para la formación de los grupos de investigación en I+D+I, así como establecer programas de incentivos para el fortalecimiento de la investigación y desarrollo de nuevos productos, procesos y servicios, ya sea generados por iniciativa propia o por la vinculación universidad-empresa.

Adicionalmente, es fundamental destinar recursos que permitan financiar de manera eficiente y efectiva las actividades de I+D en las líneas que trabajan cada uno de los grupos de investigación. Asimismo, establecer programas para la adquisición y uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) que sirvan como soporte a los grupos de investigación. De la misma manera, se debe propiciar un ambiente que fomente la creatividad, incorporando las actividades de innovación en los lineamientos estratégicos tales como misión, visión, valores, principios, buscando así facilitar los procesos de innovación en los centros de investigación de este tipo de instituciones.

REFERENCIAS

[1] M. Henao y J. Castro, Estados del arte de la investigación en educación y pedagogía en Colombia. Bogotá- Colombia: Icfes- Colciencias -Socolpe, 2000.

[2] C. Barrios, "Innovación y productividad científica en los institutos universitarios de tecnología de la Región Andina," Tesis de doctorado, Dept. Cien. Univ. Dr. Rafael Belloso Chacín, Maracaibo, Venezuela, 2013, pp. 122-128.

[3] E. E. Bonilla Blanchar, "Cultura organizacional e innovación tecnológica en las instituciones públicas de educación superior, zona fronteriza colombo-venezolana (estado Zulia-Departamento de la Guajira)," *Omnia*, vol. 17, no. 3, 2011, pp. 86-98.

[4] J. W. Zartha Sossa, G. L. Orozco Mendoza, J. I. Vergara Sornoza y D. J. Martínez, "Diagnóstico de estrategia de innovación en grupos de investigación," *J. Technol. Manag. Innov.*, vol. 6, no. 3, 2011, pp. 196-206.

[5] R. Abello y K. Pardo Sánchez, "Modelos de investigación y desarrollo en instituciones de educación superior en Colombia: El caso de la Universidad del Norte en la región Caribe de Colombia," *Investig. Desarro.*, vol. 22, no. 2, 2014.

[6] E. Fernández, *Estrategia de Innovación*. Madrid: Ediciones Paraninfo, ISBN 13: 9788497324120, mayo 2005, pp. 40-46.

[7] Á. L. Arboniés, *La disciplina de la innovación*. Argentina: Díaz de Santos, 2009, pp. 122-125.

[8] J. Vega Jurado, A. Gutiérrez Gracia y F. Jiménez Sáez, "Estrategias de innovación en la industria manufacturera española: sus determinantes y efectos sobre el desempeño innovador," Tesis de doctorado, Dept. Proy. Ing., Univ. Politéc.Valencia, Valencia, España, 2008.

[9] OCDE y Eurostat, *Manual de Oslo. Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*, 3rd ed. París: OCDE, 2005, pp. 106-107.

[10] OCDE, *Propuesta de Norma Práctica para Encuestas de Investigación y Desarrollo Experimental*. España, 2002, pp. 16-18.

[11] M. L. Medina, M. G. Medina y L. A. Merino, "La investigación científica como misión académica de los hospitales públicos universitarios," *Rev. Cuba. Salud Pública*, vol. 41, no. 1, 2015, pp. 139-146.

[12] R. Loubet-Orozco y A. Morales-Parra, "Formación de capital humano para el crecimiento económico en Sinaloa," *Ra Ximhai*, vol. 11, no. 3, 2015, pp. 41-55.

[13] F. E. Hernández Silva y Y. Martí Lahera, "Conocimiento organizacional: la gestión de los recursos y el capital humano," *ACIMED*, vol. 14, no. 1, 2007.

[14] L. Á. Guerras Martín y J. E. Navas López, *La dirección estratégica de la empresa: teoría y aplicaciones*, 3rd ed. Pamplona: S.L. Civitas Ediciones, 2007, pp. 35-42.

[15] M. J. Sánchez Bueno, *El proceso innovador y tecnológico: estrategias y apoyo público*, 1st ed. España: Netbiblo, 2008, pp. 17-20.

[16] A. M. Segredo Pérez, A. J. García Milian, P. López Puig, P. León Cabrera, y I. Perdomo Victoria, "Enfoque sistémico del clima organizacional y su aplicación en salud pública," *Rev. Cuba. Salud Pública*, vol. 41, no. 1, 2015.

[17] K. Davis y J. Newstrom, *Comportamiento humano en el trabajo*, 11th ed. México: Mc Graw Hill, 2003, pp. 11-29.

[18] I. Chiavenato, *Administración de Recursos Humanos*, 8th ed. México: McGraw-Hill, 2007, pp. 93-111.

[19] S. P. Robbins y T. A. Judge, *Comportamiento organizacional*, 13th ed. México: Pearson, 2009, pp. 172-175.

[20] D. Minsal Pérez y Y. Pérez Rodríguez, "Hacia una nueva cultura organizacional: la cultura del conocimiento," *ACIMED*, vol. 16, no. 3, 2007.

[21] D. Touche and Tohmatsu, "Fostering an innovative culture," 2004, pp. 12-20. [En línea]. Disponible en: <http://www.deloitte.com/growler>.

[22] A. Lagunes-Domínguez, C. A. Torres-Gastelú, M. A. Flores-García y A. Rodríguez-Figueroa, "Comparativo del uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) por profesores de dos universidades públicas de México," *Form. Univ.*, vol. 8, no. 2, 2015, pp. 11-18. DOI:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062015000200003>

[23] L. González P, S. Arango, C. Vásquez y J. Ospina, "Campo de investigación en tecnologías de información y comunicación: estrategia de gobernanza en la Universidad de Medellín," *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 23, no. 2, 2015, pp. 301-311.

[24] M. C. Arbeláez Gómez, "Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) un instrumento para la investigación," *Investig. Andín.*, vol. 16, no. 29, 2014, pp. 997-1000.

[25] Naciones Unidas para el Desarrollo, "Las nuevas tecnologías, ¿un salto al futuro?," *Desarrollo Humano en Chile*, Santiago de Chile, 2006, pp. 20-31.

Estudio del Impacto del Cambio Climático en los Caudales de Entrada al Embalse del Río Frío*

Impact of Climate Change on the Input Flow of the Frio River Reservoir

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.04>

Artículo de Investigación Científica - Fecha de recepción: 31 de agosto de 2015 - Fecha de aceptación: 9 de noviembre de 2015

Mónica Tatiana Gómez Vargas

Magíster en Ingeniería Civil – Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (Colombia).
mtgomezv@unal.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

M. T. Gómez Vargas “Estudio del impacto del cambio climático en los caudales de entrada al embalse del Río Frío”, *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 42-50, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.04>

Resumen-- Se evaluó cual podría ser la tendencia y la afectación en los caudales de entrada hasta el año 2100 del embalse que se tiene proyectado sobre el Río Frío para el abastecimiento de los municipios de Chía, Tenjo, Tabio, Cota y Cajicá considerando el RCP 4.5 y 8.5, los cuales describen dos caminos del forzamiento radiativo hasta el año 2100. Estos tuvieron en cuenta las series asociadas a las simulaciones realizadas en los modelos climáticos globales CCSM4, IPSL CM5A –LR y MIROC ESM y los RCP. Se realizaron análisis comparativos para saber si las demandas proyectadas hasta el año 2070 podrán cumplirse al considerar el cambio climático. Se puso en evidencia que las demandas estimadas son elevadas y tienen un crecimiento exponencial, mientras que la oferta que se estimó tiene valores pequeños que no son suficientes para satisfacer los requerimientos de abastecimiento. Los caudales de entrada se esperan que tengan disminuciones de aproximadamente un 20%.

Palabras claves--Cambio climático; variabilidad climática; escenario de cambio climático; gases efecto invernadero; modelo climático; downscaling; caudales de entrada.

Abstract-- This paper poses an assessment of the trend and negative impact of the input flow for the projected reservoir in the Frio River that will cover the demand of the towns of Chía, Tenjo, Tabio, Cota, and Cajicá until the year 2100 considering RCP 4.5 and 8.5, which describe two ways of radiative forcing. Historical series and simulations based on global climate models like CCSM4, IPSL CM5A –LR, and MIROC ESM were used. Comparative analyses were performed to determine if the forecasted demands until the year 2070 can be supplied considering the climate change scenario. It is concluded that the estimated demands are elevated and have exponential growth, while the projected offer is not sufficient to satisfy supply requirements. The input flows are expected to decrease in an approximate of 20%.

Keywords-- Climate Change; Climate Variability; Climate Change Scenario; Greenhouse Gases; Climate Model; Downscaling; Influx.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado: “Estudio del impacto del cambio climático en las afluencias de un embalse ubicado en la jurisdicción de la CAR Cundinamarca, Colombia”. Financiado por el autor. Fecha de inicio: diciembre 2013. Fecha de finalización: mayo 2015.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un tema que actualmente genera controversias de opiniones políticas, sociales, científicas y culturales. Algunos creen que las evidencias, como derretimiento parcial de capas polares y aumentos en el nivel del mar, son sólo suposiciones.

Para evaluar las posibles variaciones que se puedan relacionar con el cambio climático en el entorno, se han definido escenarios que buscan explicar las consecuencias potenciales de la influencia de las actividades humanas (crecimiento poblacional, desarrollo tecnológico, crecimiento económico, entre otros) sobre el clima, pues todas estas actividades son determinantes en la generación de gases efecto invernadero, los cuales son capaces de retener parte de la radiación que la superficie terrestre emite hacia el espacio.

Para analizar los escenarios de cambio climático se ha implementado el uso de modelos climáticos globales que buscan representar el comportamiento de variables como la precipitación y la temperatura de diversas zonas del mundo ante las condiciones que se encuentran implícitas en cada uno de los planteamientos de los escenarios. En algunos países han sido desarrollados modelos climáticos globales propios que buscan representar y simular el comportamiento de las variables climáticas a futuro. En Colombia no se cuenta con ningún grupo que realice estas investigaciones por lo que se deben adoptar los resultados de modelos generados en el mundo y realizar evaluaciones de la representación de los ciclos interanuales de precipitación y de temperatura en las zonas de nuestro país, así como de las condiciones de orografía dadas por ciertos modelos para que los resultados de los modelos puedan ser aplicados en el país.

El caso de aplicación es el embalse que se tiene proyectado sobre el río Frío, el cual actualmente se encuentra en etapa de prefactibilidad técnica, económica y ambiental y tiene como objetivo principal atender la demanda de los sistemas de acueducto de los municipios de Tabio, Tenjo, Cajicá, Chía y Cota.

Además, se busca verificar si las demandas estimadas hasta el año 2070 en los estudios que se han realizado previamente por la Corporación Autónoma Regional (CAR) podrán satisfacerse con las series de caudales de entrada resultantes al considerar el cambio climático.

II. REVISIÓN LITERARIA

Aunque no existe una definición única según el IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change), el cambio climático es una “importante variación estadística en el estado medio del clima

o en su variabilidad que se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras” [1].

Colombia participa activamente en investigaciones para dar cumplimiento a los requerimientos de la Organización de las Naciones Unidas, que es la entidad que a nivel mundial busca proporcionar liderazgo y alentar la participación en el cuidado del medio ambiente inspirando, informando y facilitando a las naciones y los pueblos los medios para mejorar su calidad de vida sin comprometer la de las futuras generaciones.

Como parte de las investigaciones adelantadas actualmente se han definido cuatro escenarios denominados *Caminos representativos de forzamiento radiativo*, los cuales son una representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas, por ejemplo, gases de efecto invernadero [2]. A su vez, el comportamiento de los caminos representativos se relaciona mediante los modelos climáticos globales, los cuales buscan representar con la menor incertidumbre el comportamiento de parámetros como temperatura y precipitación. Aunque existen muchos modelos climáticos globales para representar las condiciones climáticas y orográficas del país, el IDEAM ha realizado evaluaciones del desempeño de los mismos, encontrando que los modelos CCSM4, MIROC-ESM, IPSL – CM5A - LR [3] tienen un buen desempeño.

Es importante resaltar que los escenarios de cambio climático no son pronósticos ni predicciones, buscan relacionar la influencia del hombre y sus actividades con la variación del clima de una zona y sirven como herramienta de planificación en la toma de decisiones de diferentes proyectos, de definición de medidas de adaptación, de identificación de vulnerabilidad, entre otros aspectos.

Actualmente, en el mundo se están implementando análisis de cambio climático para validar si existirán cambios en la producción energética de los proyectos. Un ejemplo es el caso del estudio realizado en Chile donde se evaluó si el cambio climático podrá impactar en la generación de las centrales localizadas en la cuenca del Alto Cachapoal; la conclusión muestra cómo la variación simulada en los caudales afluentes a los proyectos está relacionada con la disminución en la potencia generada en el periodo analizado [4]. En California se realizaron estudios para evaluar la implicaciones de los cambios en la temperatura y la precipitación asociados al cambio climático en la importación de energía a la zona, encontrando que aumentarán estas importaciones en un 35%, considerando que se esperan aumentos en la temperatura de 4° media y una disminución del 25% en la precipitación promedio [5].

III. METODOLOGÍA

Con el fin de estimar la variación en los caudales de entrada al embalse del río Frío hasta el año 2100 considerando los escenarios de cambio climático vigentes se describe a continuación de manera breve la metodología desarrollada:

Se realizó la delimitación de la cuenca hidrográfica de la corriente donde se localizará el proyecto, así mismo se identificaron y recopiló la información de las estaciones representativas de la zona que permitieran conocer el comportamiento de variables como la precipitación, temperatura y caudales durante la historia de operación de la estación.

Cuando se realizan análisis de cambio climático deben definirse dos periodos, uno que se denomina “periodo presente”, el cual está en función del periodo de registro reportado por la estación hidrométrica representativa y el límite superior será el año 2005, este periodo será base para todas las comparaciones que se realicen; y otro periodo denominado “futuro” el cual estará comprendido entre (2006 – 2100) y será bajo el cual se estimarán las tendencias y comportamientos de las afluencias.

Una vez se tienen definidos los periodos presente y futuro, se descargaron del portal de *The Earth System Grid Federation (ESGF)* los valores de las variables de precipitación y temperatura para los periodos mencionados. Estos datos son el resultado de combinar las simulaciones resultantes de los modelos climáticos globales seleccionados, los RCP o caminos representativos y la resolución a la que se vayan a realizar los análisis, principalmente.

Es difícil comparar los resultados obtenidos entre un modelo climático global y los valores de las variables registradas por las estaciones localizadas en la cuenca de estudio pues usualmente las grillas donde vienen presentados estos modelos tienen un tamaño que se encuentra en un rango de aproximadamente 100 * 100 km² a 282 * 282 km² y se hace necesario realizar comparaciones en cuencas que tienen un tamaño menor. Por esto se han desarrollado técnicas que permitan solucionar esta diferencia de resolución, es decir, hacer comparables los resultados generados por los modelos climáticos globales con los registros presentados por las estaciones. Uno de estos métodos es el factor delta [6], el cual relaciona los valores medios mensuales multianuales de las series de los datos registrados por la estación y de los datos simulados por los modelos climáticos globales seleccionados. A continuación en (1) se presenta la ecuación que describe dicho método:

$$X_{ij}^* = \alpha_j X_{ij}^{mod} \quad (1)$$

Donde:

X_{ij}^* : Es el valor ajustado de la variable X (precipitación del mes j del año i).

X_{ij}^{mod} : Es el valor modelado de la variable para el mes j y año i (periodo futuro).

Así mismo, en (2)

$$\alpha_j = \frac{X_{ij}^{obs}}{X_{ij}^{mod}} \quad (2)$$

Donde:

X_{ij}^{obs} : Es el valor medio mensual multianual de la precipitación del mes j registrada por la estación.

X_{ij}^{mod} : Es el valor medio mensual multianual de la precipitación del mes j simulada.

Nota: Se estima un factor para cada mes.

Una vez se cuenta con las series ajustadas hasta el año 2100, se prosigue con la aplicación del protocolo de modelación. El modelo hidrológico que se seleccionó corresponde al modelo paramétrico a, b, c y d de Thomas, el cual es un modelo hidrológico simple para simular caudales en respuesta a la precipitación y la evapotranspiración potencial. Fue desarrollado por Harold A. Thomas Jr. en 1981 [7]. Este modelo puede aplicarse de dos maneras, el primero es la manera *inversa*, mediante el cual se pueden estimar los valores de los parámetros si se conocen los datos de entrada de precipitación y evapotranspiración, adicionalmente se aplica en la etapa de calibración del modelo. Posteriormente, se aplica el método de manera *directa*, el cual conocidos los parámetros del modelo y los datos de precipitación y evapotranspiración para el periodo futuro permite estimar los caudales de entrada hasta el año 2100.

A las series de precipitación, temperatura y caudales obtenidas hasta el año 2100 se le realizaron pruebas de tendencia para analizar cuál es el comportamiento que se espera.

Una vez se estimaron los valores de los caudales de entrada al embalse hasta el año 2100 considerando el cambio climático, se realizó un análisis de tendencia gráfico para conocer el comportamiento que se espera de la serie hasta este periodo. Por último, se estimaron los índices de escasez y presión hídrica del proyecto hasta el año 2070, y se compararon con las demandas que habían sido estimadas por la CAR hasta este año.

IV. RESULTADOS

Se delimitó la cuenca hidrográfica del proyecto y se realizó la identificación y recopilación de registros de las estaciones representativas (Fig. 1). Se recopilaron los registros de precipitación en el periodo 1988 – 2013, de temperatura en el periodo 1991 – 2002 y, en el caso de la estación limnimétrica Puente La Virginia, los registros recopilados corresponden al periodo 1947- 2014.



Fig. 1. Localización de estaciones representativas. Fuente: [8]

Se realizaron análisis de tendencia para los registros recopilados de las estaciones pluviométricas, climatológicas y para la estación limnigráfica Puen-te La Virginia que fueron seleccionadas como repre-sentativas en la zona, observándose en las estacio-nes pluviométricas una tendencia de aumento en los registros presentados en el periodo 1998 - 2013. Los registros de las estaciones que registraban tempera-tura no presentan una tendencia definida; y final-mente, la estación limnigráfica Puen-te La Virginia presenta una tendencia a la disminu-ción. A conti-nuación, en las Figs. 2, 3 y 4 se presentan algunas de las tendencias identificadas para las series de los diferentes parámetros.

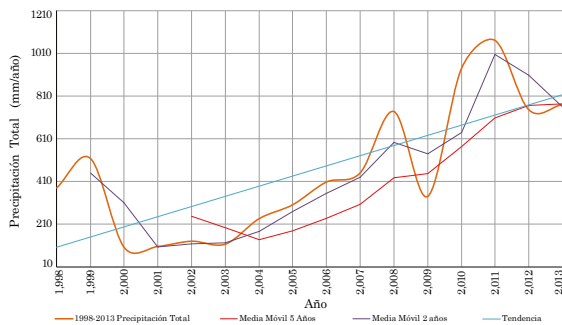


Fig. 2. Análisis de tendencia de la serie de precipitación de la estación Santa Isabel (Periodo 1998 – 2013). Fuente: [8]

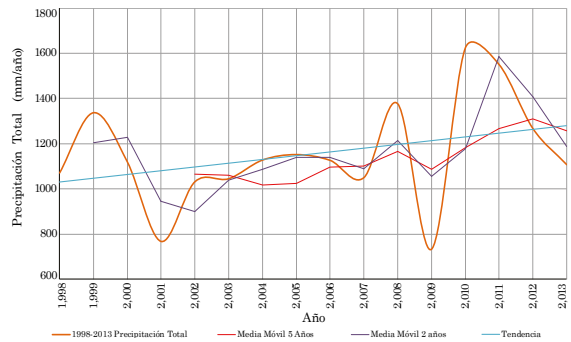


Fig. 3. Análisis de tendencia de la serie de precipitación de la estación Ventanilla (Periodo 1998 – 2013). Fuente: [8]

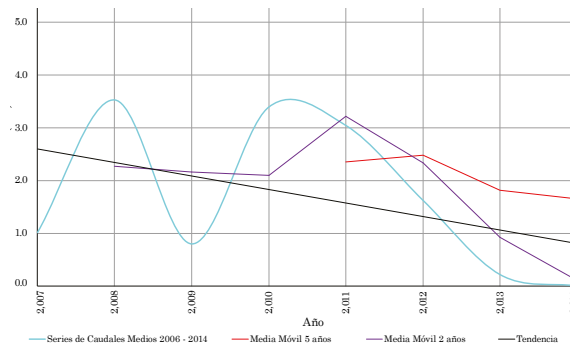


Fig. 4. Serie de caudales de la estación limnigráfica Puen-te La Virginia (Periodo 1947 – 2005). Fuente: [8]

La extracción de datos para los periodos defini-dos como actual y futuro se realizó bajo los siguien-tes parámetros:

- Proyecto (el proyecto evaluado es el CMIP5).
- Modelo (se escoge cuál modelo climático global a analizar entre CCSM4, MIROC-ESM, IPSL–CM5A-LR, estos modelos fueron seleccionados por tener el mejor desempeño en evaluaciones realizadas por el IDEAM [3]).
- Nombre de la variable (variables descargadas en el presente informe: precipitación y temperatu-ra).
- Experimento (corresponde a cada RCP, los RCP analizados en el presente estudio son RCP 4.5 y RCP 8.5, ya que el RCP 2.5 es un escenario opti-mista que no ha presentado el comportamiento del forzamiento radiativo que se tenía proyecta-do en lo que va corrido del siglo, y por otra parte, para el RCP 6.0 no todos los modelos climáticos globales que fueron base para la definición de los RCP vigentes realizaron simulaciones para todas las variables climáticas que se necesitan para realizar los análisis descritos).
- Frecuencia (especifica la frecuencia de los datos a la que se van a realizar los análisis: diaria y mensual)
- Ensamble (r1pl1).

Teniendo en cuenta que los datos simulados presentan una resolución que no es comparable con los datos reportados por las estaciones de la zona de estudio, se realiza la estimación de factores delta, los cuales relacionan los caudales medios mensuales de los caudales simulados y registrados por la estación base para el periodo de calibración del modelo hidrológico que será seleccionado y disminuye la resolución de los registros generados por los modelos para hacerlos comparables con los registros de las estaciones localizadas en la zona de estudio. A continuación en la Fig. 5 se presenta la localización de la cuenca del proyecto delimitada respecto a las grillas resultantes del modelo CCSM4.

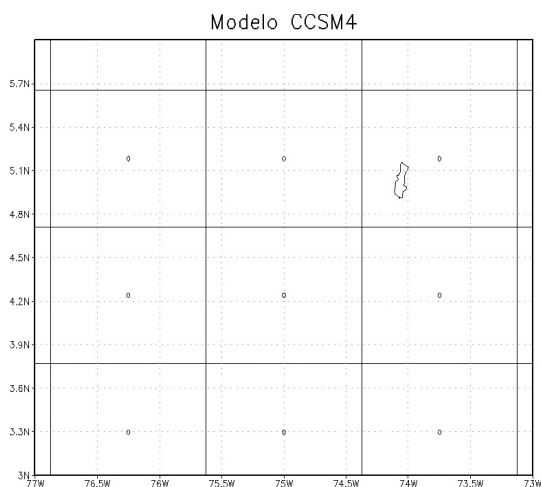


Fig. 5. Localización de la cuenca de estudio respecto a la grilla del modelo CCSM4.

Fuente: [8]

Fueron estimadas las series futuras de precipitación y temperaturas ajustadas mediante los factores delta para cada mes en cada modelo. Los resultados de los factores delta en promedio para los doce meses del año se presentan a en la Tabla I.

La calibración del modelo de Thomas inverso se realizó mediante una calibración automática que consideró como función objetivo el logaritmo natural del error cuadrático medio. El resultado obtenido fueron los valores de los parámetros que representan las características físicas del área en estudio; adicionalmente, estos parámetros fueron los que mejor representaban las series de caudales registradas por la estación liminimétrica Puente La Virginia. Estos valores habían sido definidos en un estudio previo realizado por la CAR [9] y fueron tomados como referencia, aunque consideraron un periodo de calibración y métodos de evapotranspiración diferentes, así mismo, tenía en cuenta los escenarios de cambio climático que ya no están vigentes. En la Tabla II se presentan los valores de los parámetros mencionados.

Posteriormente se realizó la aplicación del modelo de Thomas directo con el fin de estimar las series de caudales de entrada hasta el periodo 2100 suponiendo que los parámetros a, b, c y d estimados mediante la aplicación del modelo de Thomas inverso serán invariables en el tiempo, esto al tener en cuenta que los parámetros están asociados con características de la cuenca como la permeabilidad, el uso del suelo y el flujo base, de los cuales no se tiene identificado cómo sería la variación en el tiempo al considerar los efectos

TABLA I. PROMEDIOS MENSUALES DE FACTORES DELTA

Código	Nombre	Periodo de Aplicación	CCMS4	MIROC ESM	IPSL CM5A -LR
2120026	VENTALARGA	1988 - 2005	0.95	0.51	0.55
2120176	STA ISABEL	1988 - 2005	0.24	0.16	0.19
2120188	VILLA PAULA	1992 - 2005	0.65	0.48	0.55
2120214	GUERRERO	1988 - 2005	0.95	1.91	1.20
2120106	PANTANO REDONDO 1	1988 - 2005	1.02	0.56	0.59

Fuente: [8]

TABLA II. VALORES DE LOS PARÁMETROS A, B, C, D OBTENIDOS Y DE REFERENCIA

Nombre dado al grupo de parámetros	Método de Evapotranspiración	a	b	c	d	Swo	Sgo
a, b, c, d	ETP promedio	0,98	145	0,01	0,89	72,01	0,12
Valores de referencia estudio - CAR		0,77	180,55	0,07	0,22		

Fuente: [8]

de cambio climático. Como resultado pudo observarse que mediante las condiciones dadas por el modelo, el RCP 8.5 seguirá manteniendo la tendencia a disminución de los caudales de entrada en la estación de caudales representativa de la zona del proyecto. En la Fig. 6 se presenta la serie de caudales afluentes hasta el año 2100 y la tendencia de disminución de caudales que se proyecta.

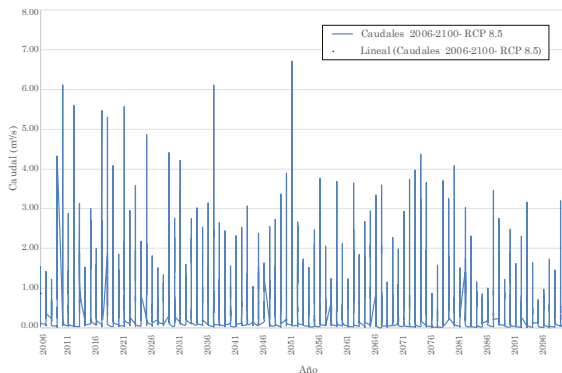


Fig. 6. Series de Caudales Simulados 2006 - 2100. Fuente: [8]

Por último se realizó la comparación de las demandas para el proyecto que fueron estimadas por la CAR [10] hasta el año 2070 y se compararon con las series de ofertas estimadas hasta ese mismo periodo. La demanda presentada por la CAR tiene en cuenta el abastecimiento de cada uno de los municipios (sectores urbano y rural) y se determinó el caudal máximo demandado desde la fuente (QMDFUENTE) para cada vigencia a partir de la estimación de las necesidades reales de captación así: QMDFUENTE: caudal máximo diario, (QMD) + las pérdidas de agua cruda en la aducción y conducción (5%) + pérdidas de agua cruda en la planta de tratamiento (3%), para finalmente determinar el caudal máximo demandado total. Mientras que la oferta neta se determinó tomando las series de caudales estimadas bajo los escenarios de cambio climático y considerando la diferencia entre el caudal que es excedido el 90% del tiempo y el caudal ecológico, el cual fue definido en el informe realizado por la CAR como el 25% del caudal medio mensual multianual más bajo de la corriente en estudio.

Tomando como referencia las series de demandas y ofertas hasta el año 2070, se estimó el índice de escasez para evaluar la relación existente entre la oferta hídrica disponible y las condiciones de demanda predominantes en la zona. “El índice de escasez es la relación porcentual de la demanda de agua ejercida por las actividades sociales y económicas en su conjunto para su uso y aprovechamiento con la oferta hídrica disponible (neta)” [11].

El índice de escasez se agrupa en cinco categorías, las cuales se presentan en la Tabla III:

TABLA III. CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE ESCASEZ

Categoría	Índice de Escasez	Características
No significativo	< 1%	Demanda no significativa con relación a la oferta.
Mínimo	1 - 10%	Demanda muy baja con respecto a la oferta.
Medio	11 - 20%	Demanda baja con respecto a la oferta.
Medio alto	21 - 50%	Demanda apreciable.
Alto	>50%	Demanda alta con respecto a la oferta.

Fuente: [11]

En la Tabla IV se presentan los resultados obtenidos para el escenario RCP 8.5 con modelo MIROC ESM. Sólo se presenta esta condición a manera de ejemplo, pues los resultados obtenidos bajo los demás escenarios y modelos presentan resultados similares.

Al realizar esta comparación se observó (Fig. 7) que el recurso hídrico en la zona tiene una gran presión y el valor de los índices de presión y de escasez presentan valores fuera de los límites establecidos por la autoridad Nacional IDEAM en el Estudio Nacional del Agua [10]. Puede observarse que la oferta hídrica presenta pequeños valores, respecto a los valores solicitados según lo establecido en el informe elaborado por la CAR [11].

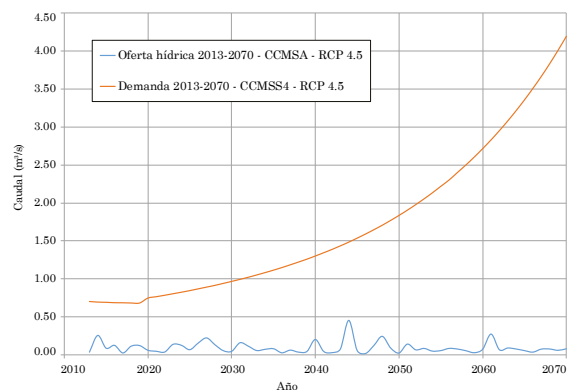


Fig. 7. Oferta hídrica vs demanda 2013 -2070. Fuente: [8]

V. CONCLUSIONES

- Se realizaron análisis de tendencia para los registros recopilados de las estaciones pluviométricas, climatológicas y para la estación limnigráfica Puente La Virginia que fueron seleccionadas como representativas en la zona, observándose en las estaciones pluviométricas una tendencia de aumento en los registros presentados en el periodo 1998 - 2013. Los registros de las estaciones

TABLA IV.

Nombre dado al grupo de parámetros	Método de evapotranspiración	a	b	c	d	Swo	Sgo
CAR 3	ETP Promedio	0.98	145,00	0,01	0,89	72,01	0,12

Fuente: [8]

que registraban temperatura no presentan una tendencia definida, y finalmente, la estación limnigráfica Puente La Virginia presenta una tendencia a la disminución.

- El grupo de parámetros que relaciona las características físicas de la cuenca como la permeabilidad y capacidad de almacenamiento, representa las series de caudales registradas por la estación representativa Puente La Virginia y origina que las series simuladas tengan características estadísticas similares a la serie de la estación base, fueron los denominados CAR 3. Los valores seleccionados se presentan a continuación en la tabla IV.

La simulación realizada tuvo en cuenta el logaritmo natural del error cuadrático medio Ln (RSME).

- La tendencia que se espera para la serie de afluencias al embalse en el periodo 2006 – 2100 del río Frío es de disminución, tal como se pone en evidencia en la serie de la estación Puente La Virginia en sus registros desde 1947 hasta el año 2013, año hasta el que fue posible recopilar información. El valor promedio se espera que sea del 20 % y es resultante de los valores que presentan los modelos CCSM4 y el IPSL CM5A – LR.
- Se realizó la estimación de los índices de escasez y de presión hídrica a nivel anual con el fin de verificar si las demandas proyectadas para abastecer los sistemas de acueducto de los municipios de Tabio, Tenjo, Cajicá, Chía y Cota pueden ser atendidas con los caudales de entrada generadas desde 2013 hasta 2070 al considerar el cambio climático. De lo anterior pudo concluirse que las demandas presentan una forma de crecimiento exponencial mientras que las ofertas varían en rangos pequeños que no son suficientes para atender las demandas estimadas hasta el año 2070, generando valores del índice de escasez y de presión hídrica fuera de los límites definidos por el IDEAM en el Estudio Nacional del Agua. Lo anterior sugiere una revisión de las demandas solicitadas y la búsqueda de fuentes adicionales de abastecimiento para cumplir con las necesidades definidas.

REFERENCIAS

- [1] Working Group I, Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [2] Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Cambio climático 2007, Informe de síntesis. Ginebra: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2007.
- [3] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, “Nuevos Escenarios de Cambio Climático, Nivel Nacional - Departamental.” Bogotá, 2015.
- [4] T. I. Gómez Zavala, “Evaluación del impacto del cambio climático en centrales hidroeléctricas de la cuenca del Alto Cachapoal.” M.S. thesis, Dept. Sci. Phys and Math., Universidad de Chile, Chile, 2013.
- [5] L. L. Dale, N. Karali, D. Millstein, M. Carnall, S. Vicuña, N. Borchers, E. Bustos, J. O’Hagan, D. Purkey, C. Heaps, J. Sieber, W. D. Collins, and M. D. Sohn, “An integrated assessment of water-energy and climate change in sacramento, california: how strong is the nexus?,” *Clim. Change*, vol. 132, no. 2, pp. 223–235, Jul. 2015. DOI: 10.1007/s10584-015-1370-x
- [6] J. D. Pabón Caicedo, El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. CAR, 2011.
- [7] H. A. Thomas, “Improved methods for national water assessment, water resources contract: WR15249270,” 1981.
- [8] M. T. Gómez Vargas, “Estudio del impacto del cambio climático en las afluencias de un embalse ubicado en la jurisdicción de la CAR Cundinamarca, Colombia”, Universidad Nacional de Colombia, 2015.
- [9] Corporación Autónoma Regional, “Modelación hidrológica de los impactos de los escenarios de cc en la escorrentía superficial y en un caso de estudio de un acuífero de la jurisdicción CAR en las cuencas hidrográficas, que sirva de base para avanzar en las Evaluaciones del ERA,” Bogotá, 2014.
- [10] Corporación Autónoma Regional, “Estudios de prefactibilidad técnica, económica y ambiental del proyecto de embalse en la cuenca del río frío convenio interadministrativo de asociación no 529 de 2012- Capítulo Planeamiento y Disponibilidad de Agua,” Bogotá, 2014.
- [11] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, “Estudio Nacional del Agua,” 2010.

TABLA V. ÍNDICE DE ESCASEZ ESTIMADO BAJO EL ESCENARIO MIROC ESM- RCP 8.5

AÑO	Q90	Caudal ecológico (m³/s)	Caudal de reparto (m³/s)	Demanda (m³/s)	Índice de escasez
2013	0,143	0,024	0,12	0,70	592,12
2014	0,149	0,031	0,12	0,70	591,14
2015	0,161	0,035	0,13	0,69	549,23
2016	0,149	0,024	0,12	0,69	552,87
2017	0,110	0,025	0,08	0,69	809,76
2018	0,078	0,018	0,06	0,68	1134,62
2019	0,114	0,027	0,09	0,68	785,60
2020	0,141	0,031	0,11	0,75	680,54
2021	0,082	0,013	0,07	0,77	1110,95
2022	0,132	0,026	0,11	0,79	743,83
2023	0,122	0,025	0,10	0,81	837,06
2024	0,082	0,014	0,07	0,83	1209,94
2025	0,029	0,004	0,02	0,85	3400,72
2026	0,098	0,018	0,08	0,87	1090,23
2027	0,048	0,004	0,04	0,89	2035,60
2028	0,089	0,022	0,07	0,92	1373,59
2029	0,099	0,023	0,08	0,94	1245,94
2030	0,097	0,023	0,07	0,97	1310,22
2031	0,075	0,013	0,06	1,00	1598,23
2032	0,094	0,017	0,08	1,02	1325,22
2033	0,075	0,017	0,06	1,05	1805,08
2034	0,074	0,017	0,06	1,08	1887,93
2035	0,093	0,022	0,07	1,12	1571,02
2036	0,109	0,024	0,08	1,15	1360,02
2037	0,094	0,021	0,07	1,19	1637,54
2038	0,112	0,022	0,09	1,22	1359,57
2039	0,111	0,023	0,09	1,26	1433,56
2040	0,080	0,015	0,06	1,30	2003,44
2041	0,145	0,034	0,11	1,35	1209,07
2042	0,112	0,025	0,09	1,39	1596,49
2043	0,111	0,022	0,09	1,44	1618,76
2044	0,095	0,019	0,08	1,49	1956,51
2045	0,108	0,024	0,08	1,54	1823,18
2046	0,085	0,021	0,06	1,59	2486,89
2047	0,094	0,022	0,07	1,65	2289,63

Cont...

ESTUDIO DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS CAUDALES DE ENTRADA AL EMBALSE DEL RÍO FRÍO

Sig...

AÑO	Q90	Caudal ecológico (m³/s)	Caudal de reparto (m³/s)	Demanda (m³/s)	Índice de escasez
2048	0,127	0,025	0,10	1,71	1679,43
2049	0,081	0,017	0,06	1,77	2787,26
2050	0,107	0,024	0,08	1,84	2220,38
2051	0,111	0,020	0,09	1,91	2106,05
2052	0,099	0,019	0,08	1,98	2470,09
2053	0,144	0,018	0,13	2,05	1636,12
2054	0,106	0,018	0,09	2,13	2427,45
2055	0,109	0,020	0,09	2,22	2484,25
2056	0,095	0,018	0,08	2,30	2972,79
2057	0,076	0,018	0,06	2,40	4173,50
2058	0,085	0,016	0,07	2,50	3623,00
2059	0,089	0,021	0,07	2,60	3835,18
2060	0,095	0,021	0,07	2,71	3673,75
2061	0,051	0,011	0,04	2,83	7070,22
2062	0,080	0,016	0,06	2,95	4628,91
2063	0,136	0,030	0,11	3,08	2911,11
2064	0,080	0,019	0,06	3,21	5198,45
2065	0,080	0,013	0,07	3,36	5016,36
2066	0,100	0,015	0,08	3,51	4126,05
2067	0,097	0,023	0,07	3,66	4982,80
2068	0,080	0,016	0,06	3,83	5969,15
2069	0,054	0,012	0,04	4,01	9478,36
2070	0,091	0,019	0,07	4,19	5801,28

Fuente: [8]

Consideraciones para el Rediseño de la Línea de Ensamble de Vehículos Aéreos No Tripulados desarrollados por la Fuerza Aérea Ecuatoriana*

Considerations of the Redesign for the Assembly Line of Unmanned Aircraft Vehicles Developed by the Ecuadorian Air Force

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.05>

Artículo de investigación - Fecha de recepción: 30 de Septiembre de 2015 - Fecha de aceptación: 2 de Diciembre de 2015

Ricardo Daniel Fiallos Castillo

Ingeniero Industrial, Universidad Técnica de Ambato. Ambato (Ecuador). fiallosricardo@yahoo.es

John Paúl Reyes Vásquez

Magíster en Ingeniería Industrial, Universidad Técnica de Ambato. Ambato (Ecuador). johnpreyes@uta.edu.ec

Paúl Homero Armas Ramírez

Mayor del Ejército, Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE), Ambato (Ecuador). paul.armas@cidfae.gob.ec

Mario Geovanny García Carrillo

Magíster en Redes y Telecomunicaciones, Universidad Técnica de Ambato. Ambato (Ecuador). mariogarcia@uta.edu.ec

Para citar este artículo / To reference this paper:

R. D. Fiallos Castillo, J. P. Reyes Vásquez, P. H. Armas Ramírez y M. G. García Carrillo "Consideraciones para el Rediseño de la Línea de Ensamble de Vehículos Aéreos No Tripulados Desarrollados por la Fuerza Aérea Ecuatoriana", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 51-64, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.05>

Resumen-- Este trabajo tiene como objetivo el re-diseño de la línea de ensamblaje de los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) destinados a realizar diversas misiones a grandes alturas llevadas a cabo en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE). La metodología que se aplicó consta de tres fases: la primera comprende el análisis de la situación estratégica actual; la segunda estima la capacidad del proceso productivo con el uso de las normas de tiempo predeterminadas con base en el sistema MTM-2; la tercera realiza el estudio de la distribución de las instalaciones mediante simulación. Como resultado final se opta por una distribución mixta que garantiza una producción en serie de UAV. La construcción de piezas se realiza en células de fabricación y el ensamble final por estaciones de trabajo; además, se establecen estrategias para el fortalecimiento de la capacidad operativa de producción de la instalación que se proyecta para tres UAV producidos cada dos meses.

Palabras claves-- Producción; UAV; estrategia de operaciones; normas de tiempos predeterminadas; MTM-2; balanceo de línea de ensamble; distribución de instalaciones; simulación del proceso productivo.

Abstract-- This paper presents the redesign of an assembly line in the manufacturing of UAVs used in various missions that take place at high altitudes for the Research and Development Center of the Ecuadorian Air Force (CIDFAE). The methodology that was applied consists of three phases: the first one involves the analysis of the current strategic situation; the second one estimates the capacity of production, time standards based on the MTM-2 system; and the third one performs a distribution study of the plant facilities through simulation. As result a mixed distribution is chosen since it guarantees a production batch of UAVs. The parts are produced in manufacturing cells and the final assembly in workstations. Furthermore, strategies for strengthening the operational capacity of the plant will be established in order to manufacture three UAVs every two months.

Keywords-- Production; UAV; Operations Strategy; Standards of Predetermined Times; MTM-2; Assembly Line Balancing; Distribution Facilities; Simulation of the Production Process.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado, "Assembly process drones for Research and Development Center of the Ecuadorian Air Force (CIDFAE)". Financiado por la Universidad Técnica de Ambato y el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE). Fecha de inicio: agosto de 2014. Fecha de finalización: agosto de 2015.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los vehículos aéreos no tripulados han demostrado gran versatilidad en diferentes aplicaciones que van desde el monitoreo y vigilancia hasta labores de rescate y reconocimiento militar, ahorrando costos y reduciendo el riesgo de pérdidas humanas en operativos militares y civiles. Debido a su reciente aparición hay escasez de datos estadísticos relacionados con el diseño de estos sistemas [1], por lo cual no existen metodologías de diseño y los fabricantes actuales deben involucrarse en mayor grado en el área de investigación.

En Latinoamérica el desarrollo tecnológico de los vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) no representa una gran actividad económica, sin embargo, se está incrementando notablemente con el paso de los años. En la región existen varios países muy activos en programas de desarrollo y utilización de UAV, entre ellos están: Brasil, México, Argentina, Colombia, Ecuador, Chile, Uruguay y Venezuela [2]. En Ecuador, el Centro de Investigación de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE) se ha convertido en un referente en el proceso de investigación, desarrollo e innovación de plataformas aéreas no tripuladas. Actualmente, se encuentra inmerso en la producción de una serie corta de aeronaves no tripuladas denominada Proyecto Gavilán III [3] para contribuir al cambio de la matriz productiva nacional. Los constantes cambios y requerimientos que surgen por parte de los consumidores orientan a los fabricantes a incorporar en su sistema de gestión, ciclos de mejora continua para mantenerse dentro del mercado, por lo cual para el caso de las industrias manufactureras, las líneas de producción también poseen un tiempo de vida útil y necesitan renovarse continuamente o generar un nuevo modelo para el proceso productivo.

Toda empresa diseña planes estratégicos para el logro de sus objetivos planteados, esto implica el desarrollo de una metodología con un proceso cuidadoso de toma de decisiones [4], [5]. La planeación estratégica tiene dos funciones principales dentro de las organizaciones ya que se encarga de desarrollar, integrar y coordinar un plan de acción consistente, y además, facilitar la adaptación a los cambios del entorno [6]; para ello requiere de un proceso básico en el cual se identifican los distintos elementos que representan la razón de ser de una institución, como la misión, visión y objetivos de la ésta.

Solamente un modelo de gestión estructurado junto con la integración de las unidades que componen la empresa pueden garantizar el direccionamiento de las funciones misionales de una organización hacia la competitividad [7], [8]. El éxito de una organización depende de la forma en que ésta

responde a los cambios que se presentan y la metodología que desarrolla para adaptarse a los mismos. Las cinco fuerzas de Porter permiten analizar todos los aspectos favorables y desfavorables del sistema dinámico en el cual la empresa compete. El modelo se basa en dos tipos de enfoque: (a) cuando una empresa se encuentra fuera del negocio y quiere ingresar a él y (b) cuando una empresa se encuentra dentro del negocio y otras empresas competidoras quieren entrar a él.

Teniendo en cuenta estos aspectos es posible desarrollar estrategias de operaciones que incluyan decisiones, como los nuevos productos que deben desarrollarse y cuándo deben introducirse en la producción, la necesidad de nuevas instalaciones y los esquemas de producción a seguir de los nuevos productos y servicios [9]. El control de estos procesos debe convertirse en parte fundamental de los objetivos de calidad de las organizaciones [10] para que de esta manera las mismas puedan ofertar productos y servicios de calidad al mercado.

Para que el CIDFAE oferte productos de calidad se requiere de un proceso productivo que utilice los recursos de manera eficiente para reducir costos de fabricación, por esta razón surge la necesidad de llevar a cabo un estudio especializado para identificar posibles falencias y fortalecer la capacidad operativa de la industria. Entre las técnicas utilizadas para el estudio de los procesos operativos se encuentran el estudio de métodos, el estudio de tiempos por cronómetro y otras técnicas muy poco utilizadas, como las normas predeterminadas (NTPD). Estos sistemas se desarrollan a partir de los valores asignados a las operaciones corporales (micromovimientos) que el analista selecciona de un manual después de analizar el método de trabajo y los suma para obtener el tiempo necesario para efectuar un determinado trabajo [11]. Se estima que actualmente existen alrededor de 50 sistemas diferentes de medición de este tipo, de los cuales los sistemas más utilizados a nivel mundial son el sistema MTM (Methods Time Measurement) y Work Factor.

Estos sistemas pueden ser utilizados solamente cuando no se dispone de otra forma de medir el tiempo de ciclo de un determinado proceso, es decir, cuando se va a realizar el diseño de una nueva línea de producción, o cuando se requiere idear una nueva metodología de trabajo [12].

Por otra parte, además de acondicionar los procesos de acuerdo con las necesidades de producción es necesario contar con una infraestructura adecuada que esté en consonancia con el producto que se desea fabricar, por esta razón una distribución de instalaciones idónea se debe integrar de la mejor manera a los elementos que intervienen en el proceso para poder garantizar un flujo continuo de los materiales y una distancia mínima entre las operaciones que se lleven a cabo [13], [14]. Una dis-

tribución de planta óptima busca resolver los problemas de diseño que incluye la partición de una región plana en departamentos o superficies de trabajo con el fin de minimizar los costos asociados con interacciones proyectadas entre los departamentos [15], [16], de esta manera se utiliza de forma eficiente el espacio disponible y se ofrece satisfacción y seguridad al trabajador.

Con el advenimiento de los nuevos sistemas de información, rápidamente los sistemas tradicionales de manufactura están volviéndose obsoletos y con ello aparece una nueva generación de instalaciones con sistemas de manufactura celular. Este giro reciente hacia este tipo de sistemas necesita del rediseño de la planta y su distribución. Las distribuciones por producto y proceso tradicionales se están reemplazando por aquellas distribuciones de tipo herradura, conformadas por células de trabajo pequeñas y semicirculares [17]. La aplicación de software mediante el cual se efectúa una visualización del comportamiento de procesos reales en un contexto virtual, junto con el enfoque de gestión por procesos, se consideran herramientas fundamentales que se complementan entre sí para el análisis del desempeño de las operaciones y, por ende, son base fundamental para la mejora continua del proceso productivo [18] [19].

Para una producción eficiente dentro de una industria se debe también considerar la gestión de la materia prima a lo largo de la cadena de suministro. Si bien es cierto que los modelos tradicionales de inventarios proveen una solución, es necesario entender qué variables deben mantenerse y cuáles deben cambiarse [20]. El modelo de gestión de dinámica de amortiguadores, suministra materiales utilizando la teoría de restricciones y asegura el nivel de inventario objetivo en el tiempo eficientemente [21].

Se considera importante la inclusión de planes agregados de producción basados en algoritmos de programación lineal, ya que optimizan los recursos de manera sistemática. De esta manera, se puede tomar una decisión más adecuada para llevar a cabo la producción dentro de las empresas manufactureras en general [22].

Otro aspecto trascendental es la aplicación de un análisis costo/beneficio mediante el cual se pueda identificar el impacto de las propuestas o alternativas de solución a un problema propuesto, pues con ello se logra minimizar defectos, evitar tiempos muertos, estandarizar procesos e incrementar la productividad de una empresa [23].

Estos conceptos pueden aplicarse a diversos sectores productivos dentro del país, entre estos, el diseño y la fabricación de prototipos de UAV. Para involucrarse en el desarrollo de una serie corta de aeronaves no tripuladas, sin dejar el proceso de investigación y desarrollo, el CIDFAE pretende modificar los procesos actuales incorporando el concepto

de escalamiento industrial, el mismo que consiste en la adquisición de capacidades tecnológicas y vínculos de mercado que permita mejorar su competitividad y moverse hacia actividades de mayor valor, todo ello en el marco de la innovación. Además, se busca incorporar nuevas capacidades tecnológicas, por medio del desarrollo de un verdadero *clúster aeronáutico*, cuyo objetivo es el diseño de nuevas metodologías y procedimientos para la mejora de la gestión táctica y a tiempo real de las operaciones de las nuevas aeronaves ecuatorianas.

Para cumplir con el propósito planteado se establece un análisis estratégico mediante el cual se identifican los factores internos y externos que influyen positiva y negativamente en el desarrollo de este tipo de productos. Consecutivamente, se evalúa el proceso productivo con herramientas para el análisis de procesos y se plantea la solución.

Gracias a este estudio también se da a conocer la aplicación de las normas de tiempo predeterminadas en un caso práctico, sobre el cual no se ha observado registro de estudios anteriores a nivel nacional. Producto de ello, se desarrolla el análisis de la distribución de las instalaciones con la aplicación de un software para acondicionar el hangar. Como resultado final se obtendrá una distribución que dará cuenta de un diseño del área que esté de acuerdo con las necesidades de producción, que para el ensamblaje final tendrá un gran impacto social y científico.

El presente trabajo se fundamenta en la necesidad del rediseño de la línea de ensamblaje de aviones no tripulados que actualmente desarrolla la CIDFAE, partiendo de la necesidad de un proceso estandarizado para desarrollar las operaciones de manera eficiente y que a su vez permita la fabricación en serie de este artefacto.

El trabajo se ha estructurado en cinco secciones de la siguiente manera: la introducción sitúa el problema, describe los antecedentes teóricos y la estrategia de investigación; la metodología presenta el enfoque y método de investigación; los resultados contribuyen a la solución del problema, se realiza una discusión y se presentan las conclusiones.

II. METODOLOGÍA

El estudio se realiza con una investigación de campo utilizando técnicas de observación directa y recolección de información con base en entrevistas y formularios. La información recolectada recibe el tratamiento adecuado basado en una fundamentación teórica obtenida mediante una investigación bibliográfica previamente establecida. El desarrollo del proyecto comprende tres fases importantes: la primera se refiere al análisis estratégico de la situación actual del CIDFAE, en el cual se identifican los elementos de la planeación estratégica, luego se realiza el análisis del sector industrial

mediante el modelo de las cinco fuerzas de Porter, y por último con base en un análisis interno y externo se plantean estrategias de producción con las cuales se busca mejorar la calidad de los procesos y productos que se desarrollan[24]; la segunda, corresponde al estudio del proceso productivo que identifica cada uno de los componentes y el proceso de fabricación, el análisis se complementa con un estudio de tiempos utilizando las normas de tiempo predeterminadas del sistema MTM. Con los datos obtenidos se calcula la capacidad de producción y se identifican los procesos requeridos para efectuar el ensamble final. Mediante un balance de la línea de ensamble final, en la tercera y última fase, se desarrolla un diseño para la distribución de planta que facilite la producción en serie de los UAV tipo Gavilán III.

Dentro del sistema MTM existen las bases de datos MTM-1, MTM-2 y MTM-3 que guardan relación directa entre sí. El sistema MTM-1 es mucho más preciso que el MTM-2, ya que el primero presenta una base de datos completa, mientras que el segundo se basa en una combinación de micromovimientos presentes en el MTM-1 [25]. A pesar de ello, el sistema MTM-2 arroja resultados muy aproximados y se convierte en una herramienta fundamental para el análisis de ciclos con tareas poco repetitivas y tiempos muy prolongados. Este sistema de tiempos predeterminados es el más utilizado en la industria. Cada micromovimiento está determinado en unidades de medición de tiempo (TMU), donde un TMU equivale a 0.0006 minutos o lo que es igual a 0.036 segundos [26]. En general, el sistema MTM-2 se recomienda aplicarlo bajo condiciones de trabajo en donde la parte de esfuerzo del ciclo de trabajo es de más de un minuto de duración, el ciclo no es altamente repetitivo y la parte manual del ciclo de trabajo no implica un gran número de movimientos manuales complejos o simultáneos.

Para este trabajo se utiliza esta metodología de estudio de tiempos con NTPD apoyados en el sistema MTM-2 por dos grandes razones, la primera: la CIDFAE se dedica únicamente a la investigación y desarrollo de diferentes UAV, por lo cual no existen registros de estudios del trabajo que se hayan desarrollado anteriormente, y la segunda es que al tratarse de un modelo nuevo, y que además se requiere fabricar en serie, es necesario proyectar el sistema productivo, los movimientos que realizan los operarios para realizar los diferentes trabajos y la maquinaria existente en la sección. Aunque esta metodología no es una técnica de medición directa, ofrece resultados muy aproximados a la realidad ya que son fruto de múltiples estudios desarrollados en diferentes áreas y que además son avalados por la Organización Internacional del Trabajo (OIT). Así, con los datos obtenidos de este análisis se estima una capacidad de producción futura de la instalación.

III. RESULTADOS

Fase I: Diagnóstico estratégico de la institución

A. Identidad corporativa

El Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana tiene como misión desarrollar investigación e innovación científica y tecnológica aeroespacial para mejorar las capacidades operativas de la Fuerza Aérea, apoyar al desarrollo nacional y disminuir la dependencia tecnológica del extranjero, puesto que pretende ser una Fuerza Aérea disuasiva, respetada y aceptada por la sociedad y pionera en el desarrollo aeroespacial nacional. Para ello reúne valores y principios que son el cimiento de esta noble institución y que ejercen singular influencia en el desarrollo de las diferentes actividades de sus colaboradores. Su estructura organizacional está conformada por tres niveles jerárquicos: nivel directivo, que son los responsables de formular planes y programas para la institución; nivel auxiliar, que se encarga de la situación financiera; y el nivel operativo, que se encarga de la producción y transferencia de tecnología.

B. Análisis del sector industrial

De acuerdo con el enfoque de las cinco fuerzas de Porter, se considera que el CIDFAE se encuentra fuera de la industria de producción masiva de UAV, ya que los modelos desarrollados hasta el momento fueron realizados simplemente con fines investigativos.

En América Latina, la fabricación de UAV empieza a expandirse con perspectivas sumamente ambiciosas gracias a la inversión de los gobiernos y otras instituciones en el desarrollo científico y tecnológico. En esta misma región, los países que lideran esta industria son Brasil y Argentina, lo cuales han desarrollado una variedad de modelos para uso militar y civil; además, países como México, Colombia, Ecuador, Chile, Uruguay y Venezuela también han incursionado en esta área en menor grado, sin embargo, todos éstos pueden considerarse como amenaza de nuevos competidores. Dentro de estas naciones existen varias empresas y centros de investigación y desarrollo aeronáutico, por lo cual el nivel de competencia en esta industria es sumamente alto, como se puede apreciar en la Tabla I.

Los drones desarrollados a nivel local están destinados a tareas de investigación, monitoreo y búsqueda de información, por lo cual dentro del país son muy codiciados por empresas como Petroecuador y otras instituciones. El poder de negociación de los clientes se considera medio ya que se requiere mayor inversión para proveer productos de última generación al mercado local.

TABLA I. FABRICANTES DE UAV EN LATINOAMÉRICA

Fabricantes de UAV en Latinoamérica	
Argentina	<ul style="list-style-type: none"> - Fábrica Argetnian de Aviones (FAdeA) - Florestan - Tesacom - Volartec - Nostromo - Fixvieww - Tedimec - Aerodreams - Instituto Aeronáutico Universitario (IAU) - Universidad Tecnológica Nacional (UTN) - INVAP
Brasil	<ul style="list-style-type: none"> - Comando General de Tecnología Aeroespacial (CTA) - Flight Technologies - Avibras - Easystech - Santos lab - AGX Tecnología - Embravant - Incubaero - Xrobots - Universidad de Minas Gerais - Instituto de Investigación y Desarrollo - Instituto de Aeronáutica y Espacio
Colombia	<ul style="list-style-type: none"> - EFIGENIA AEROSPACE - Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana - Universidad de San Buenaventura
Chile	<ul style="list-style-type: none"> - IDETEC - Industrias Eléctricas RMS - Academia Politécnica Aeronáutica - Ejército de Chile
Perú	<ul style="list-style-type: none"> - Centro de Desarrollo de Proyectos (CEDEP) de la Fuerza Aérea Peruana - Armada peruana
Uruguay	<ul style="list-style-type: none"> - Fuerza aérea uruguayaya
Venezuela	<ul style="list-style-type: none"> - Carabay - Compañía Anónima Venezolana de Industrias Militares - Aviación Militar Bolivariana de Venezuela - Universidad Simón Bolívar
México	<ul style="list-style-type: none"> - HYDRA TECHNOLOGIES - Instituto de Investigación y Desarrollo de la Secretaría de Marina SEMAR
Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> - Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana CIDFAE

Fuente: [2].

La amenaza de productos sustitutos tiene un grado de incidencia bajo ya que estos productos no son fácilmente reemplazados por otros sistemas debido a las prestaciones físicas y técnicas que presentan, como tiempo de vuelo, capacidad de carga útil, entre otros aspectos técnicos.

En cuanto al poder de negociación de los proveedores se considera que el nivel de incidencia es bajo debido a que existe gran cantidad de proveedores a nivel nacional. Los precios no difieren en gran medida, por lo cual la institución tiene la posibilidad de elegir e incluso imponer en parte sus condiciones.

Actualmente, se concluye que la rivalidad entre competidores dentro del país es nula, pero a nivel de Latinoamérica esta industria se encuentra en activo crecimiento. Por esta razón, se considera importante adoptar nuevas medidas y estrategias que permitan al CIDFAE adaptarse a los constantes cambios tecnológicos y del mercado.

C. Diagnóstico estratégico del Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE)

La formulación y direccionamiento estratégico parten de la situación actual de la institución, por esta razón es indispensable la correcta obtención, análisis y procesamiento de los factores internos (fortalezas y debilidades) y factores externos (oportunidades y amenazas).

Las principales fortalezas de la institución son que cuenta con un sólido proceso de investigación, desarrollo e innovación continua; posee fuerza laboral con estabilidad laboral; existe la infraestructura, maquinaria y equipos necesarios para las respectivas pruebas; además, el producto que se oferta es de alta calidad, hecho por manos ecuatorianas y único en el mercado nacional.

Entre las debilidades se tienen la inexistencia de procesos de fabricación estandarizados; la institución se encuentra fuera del mercado de producción masiva de UAV; además existe innovación tecnológica limitada; y además se tiene la necesidad de capacitación al personal.

Entre las oportunidades, se destaca el apoyo del gobierno a la producción nacional; la institución se encuentra en capacidad de desarrollar equipo tecnológico nacional; y existe interés en el proyecto por parte de grandes empresas e instituciones. En cuanto a materiales, existe gran variedad de proveedores a nivel local y nacional.

Entre las posibles amenazas se destaca la importación de UAV de última tecnología; además, existe un alto grado de crecimiento e innovación en esta área por parte de varios países a nivel de Latinoamérica. También, las políticas de importación ocasionan elevados costos de materiales, equipos y herramientas que se requieren para el proceso productivo.

Para lograr posicionarse en el mercado es necesario concentrarse en el cliente y sus requerimientos, luego se debe definir la estrategia más apropiada que determine el programa de acción a seguir, y por último, hay que seleccionar la estrategia más apropiada posicionándose entre las tres opciones: mejor producto, solución total del cliente y el sistema Lock-In, es decir, un enfoque más allá de nuestra industria más cercana [27].

D. Planteamiento de estrategias para mejorar la capacidad operativa del CIDFAE

En este literal se describen algunas de las estrategias con las cuales se pretende mejorar la capacidad operativa del CIDFAE.

Es de gran importancia la inserción de los UAV a diferentes aplicaciones y sectores productivos, además, es necesario que la institución adopte planes de mejora continua mediante el apoyo de entidades externas para elevar la capacidad de producción y distribución del producto. Se debe explotar la capacidad operativa para desarrollar nuevos productos y servicios, establecer convenios con grandes empresas para fomentar el desarrollo tecnológico y adaptar los productos con base en las necesidades.

Para enfrentar las debilidades y aprovechar las oportunidades es esencial fomentar la integración entre departamentos del CIDFAE por medio de capacitaciones continuas. Se deben estandarizar los procesos operativos con el fin de ofrecer productos de calidad al más bajo costo, establecer convenios con nuevos proveedores, buscar nuevos productos y materia prima al más bajo costo y establecer planes de mantenimiento preventivo para maquinaria y equipos.

Entre las estrategias para maximizar las fortalezas y minimizar las amenazas se propone el lanzamiento de productos innovadores a bajo costo aplicables a distintos sectores productivos, el desarrollo de planes de contingencia relacionados con cambios en leyes gubernamentales o inestabilidad financiera, la adecuación de la infraestructura existente a las necesidades de producción, optimizar los recursos asignados por parte del Gobierno, la adquisición de tecnología de última generación para crear nuevos y mejorados prototipos y establecer alianzas estratégicas con países productores de tecnología a nivel local. Asimismo, como pilar fundamental, es importante fomentar el estudio y la medición del trabajo en el proceso productivo de fabricación y ensamble de UAV, y por último, implantar nuevos sistemas de manufactura para reducir el desperdicio de materiales y optimizar recursos.

Fase II: Estudio del proceso productivo

En este apartado se analiza de manera general los procesos de fabricación requeridos para el desarrollo de los UAV tipo Gavilán III.

Existen doce pasos dentro del proceso de diseño de una aeronave en general, para el caso de los sistemas aéreos no tripulados (UAV) no existe ninguna excepción. El proceso a seguir es el siguiente:

Requerimientos del solicitante: son las capacidades que debe cumplir el prototipo desarrollado para la aceptación por parte del usuario.

Pensamiento de diseño: aquí se estudian todos los parámetros referentes al propósito para el cual será destinado el prototipo, la factibilidad de su construcción, los diseños con conceptos aerodinámicos y la tecnología a emplearse, entre otros.

Modelamiento geométrico: una vez que se ha definido un posible diseño con parámetros definidos, se procede a graficar el prototipo en un software CAD.

Análisis aerodinámico: el cual se efectúa con base en cálculos hechos a mano con varias ecuaciones y la aplicación de software especializado para la obtención de ciertas ecuaciones que faciliten el diseño. En la Fig.1 se muestra la simulación y análisis aerodinámico de un prototipo UAV mediante el programa SolidWorks.

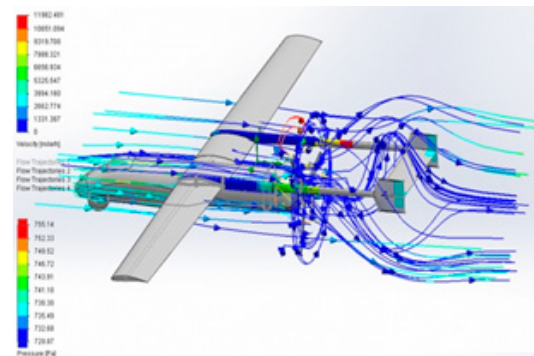


Fig. 1. Simulación aerodinámica del prototipo UAV.
Fuente: [28].

Modelamiento propulsivo: está relacionado con la selección del motor que el prototipo va a utilizar para cumplir con su misión específica de la manera más eficiente.

Análisis de restricciones: tiene que ver con las limitantes del prototipo en vuelo. En esta fase se analiza la velocidad máxima que va a poder alcanzar el prototipo, distancias de despegue y aterrizaje y otros parámetros necesarios para alcanzar un equilibrio en el prototipo y que él mismo pueda cumplir con la función encomendada.

Análisis de misión: se enfoca en las fases de vuelo que el prototipo va a cumplir. Una típica misión de un avión no tripulado sería despegue, aceleración, ascenso, crucero, reconocimiento, movimiento a objetivo, dispersión, crucero, aterrizaje.

Análisis de pesos de componentes: es fundamental para determinar el centro de gravedad del avión y sus márgenes operativos. En este paso se ingresan los datos de los pesos de todos los equipos que van a ir en el prototipo.

Análisis de tamaño: es el paso en el que el diseñador ubica todos los equipos de vuelo dentro de la aeronave y reduce el espacio físico del fuselaje para que el avión sea más eficiente en pleno vuelo.

Análisis de costo: se determina el valor estimado de inversión en el desarrollo del prototipo y la posterior producción.

Optimización: se efectúan simulaciones en software especializado para modificar la forma de las alas de tal manera que reduzca la resistencia al aire a su mínima expresión posible para reducir costos en el consumo de combustible.

Reporte de rendimiento: está ligado directamente con pruebas experimentales del prototipo, ya sea en túneles de viento o propiamente construyendo el prototipo y posteriormente realizando las pruebas de vuelo necesarias [28].

El UAV Gavilán III, al igual que varios modelos de este tipo, se compone de ciertos sub-ensambles principales, como los que se muestran en la Fig. 2. Para la fabricación de estos prototipos, la materia prima pasa por varios procesos operativos en los cuales un equipo multidisciplinario se encarga de construir cada uno de los componentes requeridos en el modelo. Los macro procesos identificados en la fabricación son: rayado, corte, taladrado, dobla-

do, laminado en fibra de carbono, proceso de mecanizado CNC, torneado, soldado, pulido, pintura y ensamblaje. Estos macro procesos a su vez poseen tareas que se han detallado en hojas de trabajo y diagramas de procesos que son entregadas a los operarios por parte del supervisor de producción antes de realizar el trabajo.

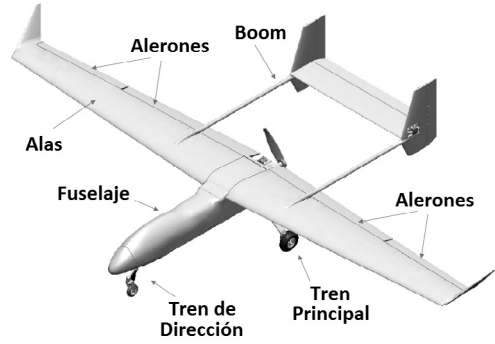


Fig.2. Sub-ensambles principales del UAV Gavilán III. Fuente: Autores.

En el área de producción existen varios talleres con maquinaria y mobiliario especializado para las actividades a desarrollar. Éstos trabajan como células de trabajo. Para facilitar las tareas de producción, se asignó un código a cada uno de los componentes y, a su vez, se distribuyó la producción de acuerdo con el material a mecanizar y componentes a fabricar.

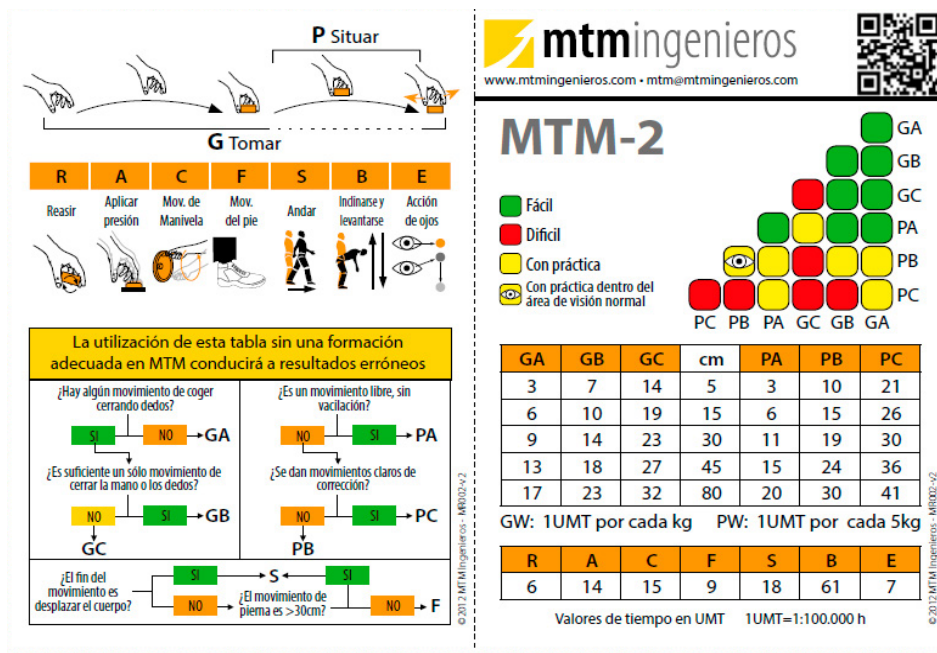


Fig. 3. Tabla de tiempos predeterminados MTM-2. Fuente: [25].

E. Estudio de tiempos con base en el sistema MTM-2

Para el uso de la normativa MTM-2 se deben considerar los micromovimientos básicos, denominados *therbligs*, mostrados en el costado izquierdo de la Fig.3 y utilizando herramientas diagramas hombremáquina. A cada movimiento se le asigna una valoración que viene dada en TMU, posteriormente se realiza la conversión de unidades correspondiente de acuerdo con lo indicado en [12]. Para describir la aplicación de este sistema, se expone el ejemplo descrito a continuación, que corresponde al proceso de fijación de la base del tren de dirección del UAV Gavilán III (Fig. 4).

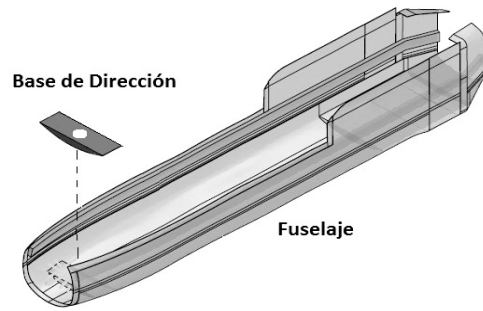


Fig. 4. Fijación de la base del tren de dirección dentro del fuselaje.
Fuente: Autores.

TABLA II. EXTRACTO DEL ANÁLISIS DEL PROCESO DE FIJACIÓN DE LA BASE DEL TREN DE DIRECCIÓN CON MTM-2

Tareas Mano Izquierda	MI	TMU	Tiempo Normal (TMU)	TMU	MD	Tareas Mano Derecha	
Tomar piel	GB30	14	23	23		Tomar piel	
	3GW	1	3	1	3		
Situvar piel	PB45	24	30	30		Situvar piel	
	PW5	1	1	1			
		0	7	7	E	Visualizar posición de lija	
		0	27	27	GC45	Tomar lija	
		0	15	15	PA45	Situvar lija	
Sostener piel de fuselaje	GB10	10	360	15	24	PA45	Lijar superficie
		0	15	15	PA45	Situvar lija en reposo	
		0	7	7	E	Visualizar paño	
		0	23	23	GB50	Tomar paño	
		0	20	20	PA50	Situvar paño	
Sostener piel de fuselaje	GB10	10	90	15	6	PA45	Limpiar superficie
		0	20	20	PA50	Situvar paño en reposo	
		0	7	7	E	Visualizar pegamento	
		0	23	23	GB80	Tomar pegamento	
		0	30	30	PB80	Situvar pegamento	
Situvar pegamento	GB15	10	23	23		GB70	Tomar brocha
Sostener piel de fuselaje	GB10	10	88	11	8	PA30	Aplicar pegamento
		0	30	30		PB80	Situvar pegamento en reposo
Visualizar base	E	7	7	0			
Alcanzar base	2S	18	36	0			
Tomar base	GB80	23	23	0			
Situvar base	PA80	20	20	0			
Situvar base	PC45	36	36	36		PC45	Situvar base
Aplicar presión	A	14	14	14		A	Aplicar presión
Situvar mano en reposo	PB45	24	24	24		PB45	Situvar mano en reposo
		$\Sigma=$	1002				

Fuente: Autores

La Tabla II corresponde a un extracto de varias operaciones realizadas durante el proceso de ensamble del fuselaje del avión. Para efectuar este proceso, el operario toma y sitúa el revestimiento del fuselaje fabricado en fibra de carbono sobre la mesa de trabajo (este componente tiene un peso aproximado de 5 kg); sujeta el componente con una mano mientras que con la otra lija la superficie en la cual se fijará el componente secundario; luego se limpia con un paño la superficie para eliminar los residuos; se aplica pegamento en las superficies y se fija el componente secundario, que en este caso es la base de dirección en la posición establecida; y de este modo, el operario concluye la actividad.

Al analizar la primera tarea del ejemplo en la Tabla II, que es “tomar piel”, se tienen en cuenta dos aspectos importantes: el recubrimiento o piel de fuselaje de acuerdo con su diseño, el cual es un elemento que se puede tomar fácilmente con sólo cerrar las manos, por lo cual se le asigna el código GB; y la distancia a la cual debe manipular el elemento, que es de 30 cm para la mano izquierda (GB30) y de 60 cm para la mano derecha; de acuerdo con la Fig. 5, para este último valor se toma el código (GB80) ya que abarca las distancias comprendidas entre 46 y 80 cm de longitud. De acuerdo con la tabla MTM-2 de la Fig.5 se tiene: para GB30 = 14 TMU (mano izquierda) y para GB80 = 23 TMU (mano derecha). De estos dos valores mencionados, se toma 23 TMU debido a que es el tiempo que restringe la actividad. El revestimiento o piel de fuselaje tiene un peso aproximado de 5 kg y se le asignan las siglas GW. Como el operario utiliza sus dos manos para agarrar el objeto, éste tiene un equivalente de 3 kg de peso por cada mano, de este modo se adopta la codificación 3GW. Según la MTM-2, se debe asignar 1 TMU por cada kg de peso, por lo tanto: 3GW = 3TMU (para cada mano). Para el tiempo normal, se toma un valor promedio equivalente a 3TMU.

Para cada una de las demás tareas, el proceso se realiza de manera similar ubicando los códigos correspondientes a cada actividad con su respectivo valor en TMU. Para obtener el tiempo normal total de la operación, se suman todos los valores de tiempo normal en TMU de la columna. Entonces, para el proceso de fijación de la base del tren se tiene un valor total de 1002 TMU. Finalmente, este valor de tiempo necesita ser transformado a unidades de tiempo fácilmente identificables, para eso se tiene en cuenta la siguiente equivalencia: 1 TMU= 0.036 seg [25]. Mediante esta consideración, se tiene que el tiempo normal para realizar la fijación de la base del tren de dirección equivale a 36,07 segundos. Una vez obtenidos todos los tiempos de las operaciones requeridas para la fabricación de piezas se crean matrices de resumen de tiempos para cada sub-ensamble principal, como el que se indica en la Tabla III.

TABLA III. MATRIZ DE RESUMEN DE TIEMPOS PARA ELABORACIÓN DE PIEZAS QUE CONFORMAN LOS FLAPS

Tiempo estimado de fabricación de piezas de los flaps (min.)				
Componente	Laminado	Mec. CNC		Pulido
		TAM	TCM	
Costillas 1	21	32	42	8,7
Costillas 2	-	32	12	-
Cuerpo principal	-	32	38	2,6
Piel flap vertical	36	-	-	5,6
Soporte de dirección	23	-	-	-
T. Actividades Manuales		96		

Fuente: Autores

En ciertos casos, como el del proceso de mecanizado CNC, se incluyen dos tiempos: tiempos de las actividades manuales desarrolladas por el operario (TAM) y el tiempo condicionado por la máquina (TCM) al realizar su trabajo.

Para la evaluación del trabajador se asigna una valoración de 100%, ya que los operarios poseen la destreza necesaria para realizar su trabajo. Los suplementos por descanso a las actividades desarrolladas por los operarios, fueron establecidos con base en un análisis de las condiciones del lugar de trabajo y las operaciones que desempeñan los trabajadores de la sección. Se consideraron factores de tensión física, tensión mental y las condiciones de trabajo, y se asignó una calificación de acuerdo con los puntos atribuidos a las diferentes tensiones especificados por la OIT [12], [32]. En la Tabla IV se sintetizan los tiempos de operación estimados para cada proceso principal y sus respectivos suplementos de descanso.

TABLA IV. CÁLCULO DEL TIEMPO ESTÁNDAR TOTAL Y PARCIAL PARA LA PRODUCCIÓN DE UAV GAVILÁN III

Producto: UAV Gavilán III		Tiempo básico (hrs)	Descanso (%)	Suplemento (h)	Tiempo estándar (h)
Nº	Operaciones				
A	Rayado	1,550	26,00	0,40	1,96
B	Cortar	3,380	39,00	1,32	4,70
C	Taladrar	0,260	35,00	0,09	0,35
D	Doblar	0,730	32,00	0,23	0,96
E	Mec. TAM CNC TCM	18,130	5,44	56,22	55,32
		32,650			
F	Laminado	16,530	35,00	5,79	22,32
G	Tornear	0,180	0,06	0,84	0,83
		0,600			
H	Soldado	0,550	27,00	0,15	0,70
I	Pulir	2,810	39,00	1,10	3,91
J	Pintar	7,100	48,00	3,41	10,51
K	Ensamblar	2,640	30,00	0,79	3,43

Tiempo estándar total:	105,89 h/u
-------------------------------	-------------------

Fuente: Autores

Estimado el tiempo estándar, es posible calcular la capacidad de producción basados en (1):

$$CP = \frac{1}{Ts} \quad (1)$$

Donde CP representa la capacidad de producción y Ts el tiempo estándar. Para el cálculo se debe tener en cuenta que los operarios trabajan jornadas de 8 horas diarias por 20 días laborables al mes.

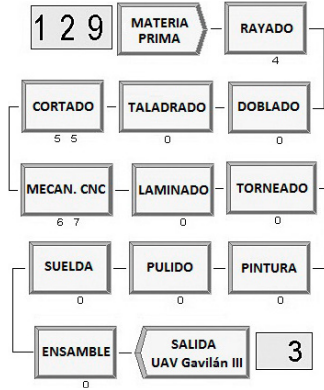


Fig. 5. Simulación del modelo con 320 horas laborables. Fuente: Autores.

En la Fig. 5, se presenta el resultado de la simulación realizada con el software *Arena* para un tiempo de producción de 320 horas laborables, es decir, dos meses de trabajo. La interfaz cuenta con un área gráfica en la cual se desarrolla el modelo a partir de figuras geométricas que corresponden a las entradas, procesos y salidas que se requieren para la construcción del modelo. En este periodo de tiempo se observa que el programa arroja un resultado de 3 unidades UAV terminadas a su salida.

Fase III: Análisis de las instalaciones y distribución de planta

En lo referente al ensamble final del UAV, se realiza un balance de la línea de ensamble. Debido a la gran cantidad de tareas a realizar se utilizó el módulo *Facility Location and Layout* perteneciente al software WinQSB. Se determina idóneo dividir el área de ensamble en cuatro estaciones de trabajo cuyo tiempo de ciclo es de 49,37 minutos, y dependiendo de las tareas que se han asignado a cada estación de ensamble se elaboró una lista de los componentes requeridos en cada una de las mismas. Las actividades que se asignaron a cada estación son: estación de trabajo 1, en la cual se realiza el montaje del fuselaje y trenes de aterrizaje con el propósito de facilitar el transporte del sub-ensamble de una estación de trabajo a la siguiente; estación 2, en la cual se realiza el montaje de los estabilizadores de la cola del avión, alerones y flaps; estación 3, en esta estación de trabajo se realiza el montaje final de las alas y el ensamblaje final de la cola del avión, *más conocida como boom*; y estación 4,

donde se realiza el montaje final de las alas y la cola del avión al fuselaje en su posición definitiva. Una vez culminados los procesos de montaje, la estructura del avión pasa a otra sección del CIDFAE encargada de la parte electrónica en la cual se le añaden al avión los componentes y sistemas electrónicos de control, navegación, energía, etc., y finalmente, se pasa a las respectivas pruebas y calibración de la aeronave.

Para determinar el espacio requerido por las instalaciones se utiliza el método de Guerchet, el cual evalúa el espacio físico con base en tres parámetros: la superficie estática (Ses), que es la superficie productiva que ocupa físicamente la maquinaria, el mobiliario, y demás; la superficie de gravitación (Sg), que es la superficie utilizada por los operarios que están laborando y la materia prima que se está procesando, para su cálculo se utiliza (2); y la superficie de evolución (Sev), que es la superficie necesaria para el movimiento del personal, materiales y sus medios de transporte, viene dada (3). El número de lados operativos de la máquina está representado por n . La superficie total (ST), viene dada por la sumatoria de las superficies mencionadas anteriormente, como se observa en (4).

$$Sg = Ses * n \quad (2)$$

$$Sev = (Ses + Sg) * k \quad (3)$$

$$ST = Ses + Sg + Sev \quad (4)$$

El coeficiente de proporción (k) entre el volumen del material y el personal que se está moviendo entre los puestos de trabajo. Se utiliza la valoración correspondiente a este tipo de industria [29]. El cálculo del espacio total requerido se muestra en la en la Tabla V.

TABLA V. SUPERFICIE TOTAL REQUERIDA PARA LOS TALLERES DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN

Superficie Requerida	
Taller	Area requerida (m ²)
Mecánica	71,41
Materiales Compuestos	43,96
Carpintería	41,38
Ensamblaje	1032,64
Pintura	44,64
Superficie total:	1234,03 m²

Fuente: Autor

El costo de transporte de material dentro de cada uno de los talleres se evaluó mediante el software WinQSB. Debido a que cada taller posee maquinaria para fabricar los distintos componentes, se diseñó la distribución inicial basada en los procesos de la instalación, como se muestra en la Fig. 6. Los datos obtenidos se ingresan en el software para obtener la mejor solución con el menor costo de transporte de materiales.

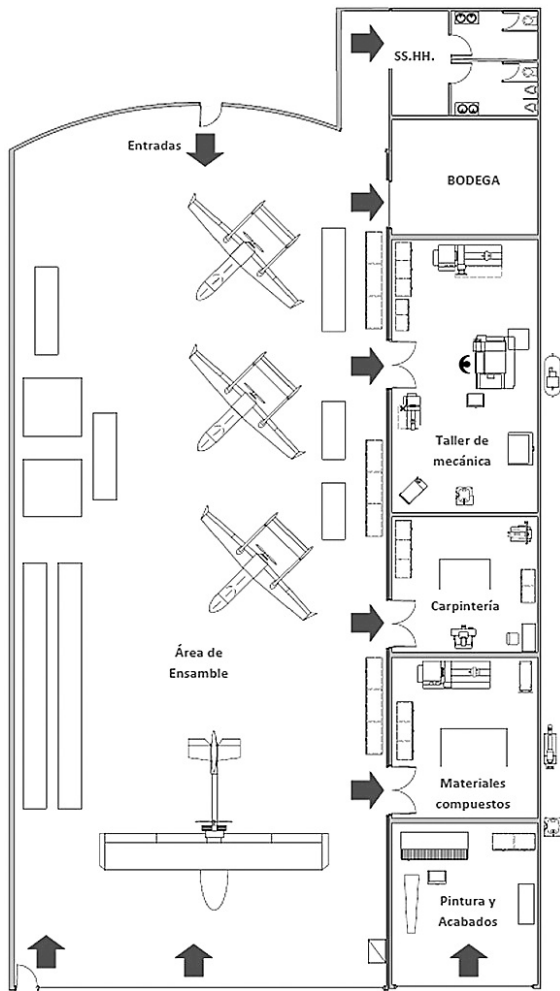


Fig. 6. Distribución actual de la planta de la sección de producción.
Fuente: Autor.

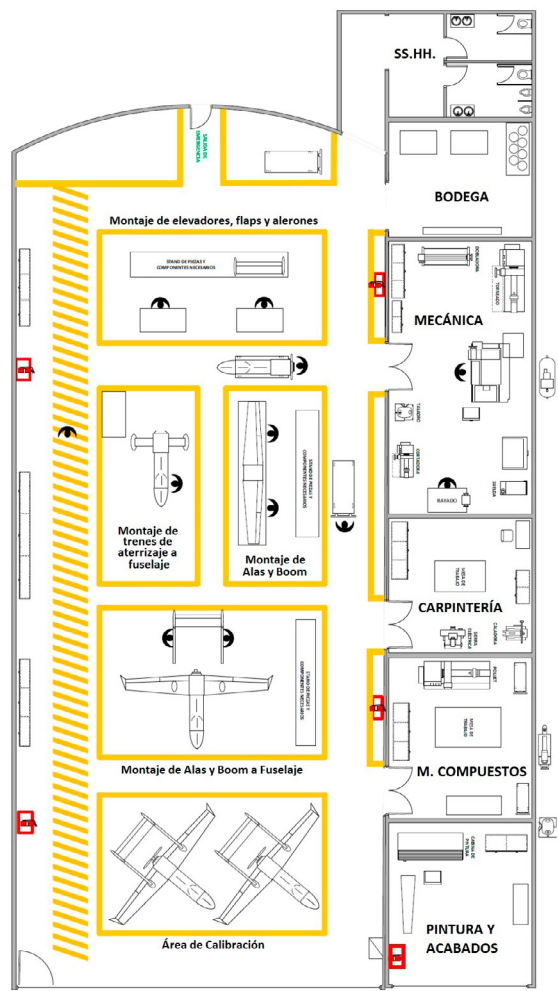


Fig. 7. Distribución de planta propuesta para la sección de producción.
Fuente: Autores.

Como resultado del análisis con el software Win-QSB, se tiene que el tipo de distribución final para la sección de producción es una distribución mixta, en la cual los distintos talleres son las células de trabajo dentro las cuales se adoptó una distribución por proceso. Para el ensamble final se trabaja como una distribución por posición fija debido a las características físicas del aeroplano, este espacio de trabajo se divide en 4 estaciones de acuerdo a lo mencionado anteriormente en el balanceo de la línea de ensamble. La distribución propuesta presenta una reducción de la distancia entre puestos de trabajo optimizando el flujo de materiales, lo cual implica una reducción por costos de transporte de los mismos. En la Fig. 7 se presenta la distribución mixta final propuesta obtenida para la sección de producción y ensamble. La sección del ensamble final se divide en 4 estaciones de acuerdo con lo mencionado anteriormente en el balanceo de la línea de ensamble.

Finalmente, para una distribución óptima de los puestos de trabajo es importante que las instalaciones cumplan con las normativas de seguridad laboral vigentes en el país, para ello se utiliza el Decreto ejecutivo 2393 que es el *Reglamento de salud y seguridad de los trabajadores*, en el cual se establecen una serie de parámetros a cumplir referentes a instalaciones, equipos de protección personal, extintores, etc... [30]. En lo referente a señalización de seguridad, se adoptan los requerimientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN ISO 3864-1:2013 [31].

VI. DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de la situación estratégica actual y el análisis del sector industrial, se identifica que existe un alto grado de competencia a nivel de Latinoamérica, siendo Argentina y Brasil los países que lideran este tipo de industria.

Para que el CIDFAE pueda ingresar en este mercado, y a su vez pueda promocionar el producto tanto a nivel nacional como a otros países de Latinoamérica, primeramente debe adoptar las estrategias de producción planteadas, las cuales le permitirán mejorar la calidad de los procesos y, por ende, la calidad del producto final. Entre estas estrategias están la adquisición de maquinaria de última generación, la aplicación de planes de mantenimiento preventivo para maquinaria y equipos, y otros ya establecidos. Con base en este análisis se considera que el CIDFAE no se encuentra en las condiciones apropiadas para efectuar la producción en serie del modelo Gavilán III.

Como resultado del análisis del proceso productivo, se identificaron los componentes requeridos para el ensamble del UAV Gavilán III. Al existir una gran cantidad de componentes, es necesario establecer una codificación para tener un mejor control de los mismos. Asimismo, con fundamento en el análisis de tiempos realizado mediante la Norma MTM-2 para la fabricación de los distintos componentes se han identificado procesos que limitan la producción actual a tres aviones por cada dos meses de trabajo. El proceso de mecanizado CNC requiere tiempos elevados para preparación, carga y descarga de la máquina; estos tiempos se pueden reducir mediante un entrenamiento adecuado del personal a cargo de la maquinaria. Además, se propone la creación de plantillas para mecanizado de varios componentes que requieran del mismo material. Como una alternativa adicional se puede optar por la adquisición de una nueva máquina CNC de similares características que permita reducir el cuello de botella que se forma debido a la gran cantidad de componentes que requieren de este proceso para su fabricación.

Otro de los procesos que representan un cuello de botella es el proceso de laminado, pues éste demanda preparación y tratamiento adecuado de los materiales. Para solucionar este inconveniente se requiere de la elaboración de un juego de moldes adicional para la creación del revestimiento de los distintos sub-ensambles principales. Por el contrario, para el proceso de corte se considera necesaria la reactivación de la máquina caladora existente, realizando previamente un chequeo y reparación de la misma, ya que este proceso es uno de los más utilizados en la fabricación de los distintos componentes.

En lo referente a infraestructura y mediante el análisis realizado con el software WinQSB, la sección de producción cuenta con el espacio necesario para reubicar la maquinaria, equipos y mobiliario de manera eficiente. Se consiguió establecer una propuesta de distribución eficiente para reducir las distancias y costos por transporte de materiales entre puestos de trabajo, teniendo como resultado una

distribución mixta en la cual se tiene una distribución por proceso dentro de los diferentes talleres.

El UAV Gavilán III ha sido diseñado para operaciones de grandes alturas en los andes ecuatorianos, por lo que las instalaciones de su estación de control en tierra y pista de aterrizaje están ubicadas en la región central del país en la sierra, específicamente en la ciudad de Ambato. Estas condiciones presentan un escenario ideal para sus operaciones aéreas.

VII. CONCLUSIONES

Se puede constatar que tanto la planeación de producción y la administración estratégica constituyen las tareas de gran importancia para la alta gerencia, por esta razón, estos elementos requieren de innovación continua para asegurar el éxito de la organización.

Gracias al análisis del sector industrial, se identifica que la CIDFAE no se encuentra en capacidad de competir con fabricantes de UAV a nivel de Latinoamérica. Existen varias empresas que lideran el mercado como Tesacom, Volartec, Aerodreams. El CIDFAE, por su lado, para asegurar su posicionamiento en el mercado establece planes de acción y estrategias para mejorar la calidad de los productos, y mediante la aplicación de éstas plantea reducir el desperdicio de materiales ocasionado por una mala organización de la producción y, a su vez, explotar al máximo la capacidad operativa de la institución.

En cuanto al estudio del proceso productivo, se vio la necesidad de realizar un estudio mediante estimaciones de tiempos utilizando herramientas como diagramas hombre-máquina, normas de tiempo predeterminadas MTM-2 y la colaboración de los operarios con base en su experiencia laboral. De este análisis, se obtiene como resultado que el CIDFAE actualmente está en capacidad de producir tres aviones cada dos meses de trabajo.

La fabricación del modelo UAV Gavilán III requiere de un alto tiempo de proceso, sin embargo, es muy útil conocer al detalle cada una de las actividades que se desarrollan con el tiempo requerido para las mismas, puesto que se puede conocer la capacidad de producción instalada y llevar a cabo correcciones en el proceso productivo de manera fácil y rápida. Por otro lado, la creación de familia de partes ayuda en gran medida a organizar la producción, ya que de este modo se logra agrupar todos los componentes que requieren de materiales y procesos de fabricación similares, optimizando los recursos y reduciendo el desperdicio de materiales.

La aplicación del software *Arena* permitió analizar el escenario de una manera rápida y segura. Teniendo en cuenta las restricciones de capacidad de cada proceso como resultado de la simulación, se obtuvo una producción de tres aviones por cada dos meses de trabajo. Mediante el uso del software WinQSB, se pudieron conseguir múltiples alternativas de solución para la ubicación de maquinaria dentro

de cada taller, teniendo en cuenta los costos de transporte y flujo de material entre puestos de trabajo. En el análisis de flujo de material de la distribución propuesta se obtuvo un costo de 65 dólares frente a los 86,4 dólares de la distribución actual, así, como resultado final existe un ahorro del 25% en costo de flujo de material.

Para el diseño final del *layout* de la sección de producción se toma la información del balance de la línea de ensamblaje y los reglamentos vigentes en el país referentes a seguridad laboral. De este modo, en la Fig. 7 se tiene una distribución mixta en donde cada taller provee los componentes necesarios al área de montaje, la misma que se organiza en cuatro estaciones de trabajo a para efectuar el ensamblaje final de los UAV y que cumple con las normativas de seguridad.

En relación con la estación de control en tierra, actualmente la CIDFAE utiliza las instalaciones del aeropuerto Chachoán de la ciudad de Ambato. El aeropuerto está en una elevación de 2,591 metros, tiene una pista de aterrizaje designada 01/19 con superficie de asfalto que mide 1,925 x 25 metros. Para estudios posteriores se sugiere realizar un detallado análisis de la estación de control en tierra.

VIII. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Defensa Nacional, la Fuerza Aérea Ecuatoriana y la Universidad Técnica de Ambato por el apoyo brindado para la realización de la investigación en el marco de ejecución del proyecto de titulación de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización denominado “Procesos de ensamblaje de aviones no tripulados para el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (CIDFAE)”.

REFERENCIAS

- [1] D. Raymer, “Enhancing Aircraft Conceptual Design using Multidisciplinary Optimization,” Institutionen för flygteknik, Tesis de doctorado, Dept. Aeron., Royal Institut. of Technology., Stockholm, Sweden, 2002.
- [2] G. Sánchez Jiménez, M. Mulero Valenzuela, and E. Saumeth Cadavid, “Vehículos aéreos no tripulados en Latinoamérica,” *idsolution*, Madrid, pp. 8–85, May-2013.
- [3] V. Enríquez, “Del proceso de investigación y desarrollo al escalamiento industrial,” WordPress.com, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://vxnriquezblog.wordpress.com/2014/09/29/del-proceso-de-investigacion-y-desarrollo-al-escalamiento-industrial/>.
- [4] C. Williams, *Management*, 6th ed. South-Western: Cengage Learning, 2011, pp. 828.
- [5] S. C. Certo and J. P. Peter, *Dirección estratégica*, 3rd ed. Madrid: McGraw-Hill Interamericana, 1997, pp. 382.
- [6] S. Hart and C. Banbury, “How strategy-making processes can make a difference,” *Strateg. Manag. J.*, vol. 15, no. 4, pp. 251–269, may 1994. DOI: 10.1002/smj.4250150402
- [7] F. V. Ospino Valdiris, “El direccionamiento estratégico basado en las opiniones de los empleados: estrategia para lograr las metas,” *INGE CUC*, vol. 6, no. 1, pp. 167–180, oct. 2010.
- [8] L. S. Cárdenas, E. B. Ibarra, and B. A. García, “Una metodología innovadora para la planeación estratégica en las universidades,” *INGE CUC*, vol. 9, no. 1, pp. 43–63, jul. 2013.
- [9] N. Gaither and G. Frazier, “Disposición física de instalaciones,” en *Administración de producción y operaciones*, 8th ed., Cengage Learning Latin Am, 2000, pp. 43, 268–269.
- [10] N. C. Solano and R. Á. P. Murgía, “Optimización del proceso de fabricación de alambres de aleación 6201 T-81,” *INGE CUC*, vol. 7, no. 1, pp. 207–216, oct. 2011.
- [11] A. Freivalds and B. W. Niebel, “Análisis de operaciones,” en *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*, 11th ed., México: McGraw-Hill, 2009.
- [12] G. Kanawaty, “Disposición del espacio, manipulación y planificación del proceso,” en *Introducción al estudio del trabajo*, 4th ed., Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo, 1996, pp. 207, 387, 410.
- [13] R. García Criollo, “Distribución de Planta,” en *Estudio del Trabajo. Ingeniería de Metodos y Medición del Trabajo*, 2nd ed., México: Mc Graw Hill, 2005, pp. 143–145.
- [14] P. A. Aguaysa Carrillo and C. J. Mariño Rivera, “Distribución de Planta y su Influencia en el Proceso de Producción del Área de Manufactura en la Empresa Tenería ‘Inca’ S.A de la ciudad de Ambato”, Tesis de maestría, Dept. Electron., Sist. e Ind. Eng., Téc. Ambato, Ambato, Ecuador, 2013.
- [15] M. Shouman, G. Nawara, A. Reyad, and K. El-Darandaly, “Facility Layout Problem (FLP) and Intelligent Techniques: A Survey,” 2011.
- [16] E. P. López Morales, “Distribución de planta para la optimización del manejo de materiales en la empresa de calzado DAV-SPORT de la Ciudad de Ambato,” M.S. thesis, Dept. Electron., Sist. e Ind. Eng., Téc. Ambato, Ambato, Ecuador, 2014.
- [17] R. Sharma and L. R. Foulds, “A Simulation Model of Horseshoe Layouts,” en 33rd Annual Conference of the Operational Research Society of New Zealand, 1998.
- [18] J. E. González and E. M. Collante, “Análisis de la capacidad del proceso de cargue y descargue en la sociedad portuaria regional Barranquilla SPRB,” *INGE CUC*, vol. 7, no. 1, pp. 17–26, oct. 2011.
- [19] R. A. G. Montoya, J. A. S. Alzate, and J. A. P. Muñoz, “Análisis de la operación despacho en un centro de distribución basado en gestión de procesos y simulación,” *INGE CUC*, vol. 7, no. 1, pp. 75–86, oct. 2011.
- [20] E. A. Pacheco Velásquez, “Un modelo para la optimización de políticas de inventario conjuntas en cadenas de suministro,” *INGE CUC*, vol. 9, no. 1, pp. 11–23, jul. 2013.
- [21] J. Reyes, K. Alvarez, and R. Vasquez, “Dynamic Buffer Management for Raw Material Supply in the Footwear Industry,” *J. Ind. Intell. Inf.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–8, 2016. DOI: 10.12720/jiii.4.1.1-8
- [22] J. P. Reyes Vasquez and C. G. Molina Velis, “Plan agregado de producción mediante el uso de un algoritmo de programación lineal: Un caso de estudio,” *Rev. Politécnica*, vol. 34, no. 1, ago. 2014.
- [23] J. C. Cabarcas Reyes, M. J. Wilches-Arango, A. F. Chaves, and S. M. Sanmiguel, “Análisis y mejoramiento de la cadena de valor de la línea de producción de láminas de una empresa del sector metalmeccánico mediante la aplicación de herramientas de manufactura Lean,” *INGE CUC*, vol. 7, no. 1, pp. 27–42, oct. 2011.
- [24] L. Goodstein, T. Nolan, and J. Pfeiffer, *Applied Strategic Planning: How to Develop a Plan That Really Works*, 3rd ed. Estados Unidos: Mc Graw Hill, 1993.
- [25] MTM Ingenieros, “¿Qué es el MTM?” [En línea]. Disponible en: <http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-el-mtm/>.
- [26] N. Alzate Guzmán and J. E. Sánchez Castaño, “Estudio de métodos y tiempos de la línea de producción de calzado tipo ‘clásico de dama’ en la empresa de calzado Caprichosa para definir un nuevo método de producción y determinar el tiempo estándar de fabricación,” Tesis de maestría, Dept. Ind. Eng., Univ. Tecn. Pereira, Pereira, 2013.

CONSIDERACIONES PARA EL REDISEÑO DE LA LÍNEA DE ENSAMBLE DE VEHÍCULOS
AÉREOS NO TRIPULADOS DESARROLLADOS POR LA FUERZA AÉREA ECUATORIANA

- [27] A. C. Hax, "El Modelo Delta un nuevo marco estratégico," *J. Strateg. Manag. Educ.*, 2003.
- [28] M. Baca Cisneros, "Como se diseña un UAV," *Aero-Mundo Magazine*, 2013.
- [29] L. C. Arbós, *Organización de la producción y dirección de operaciones: Sistemas actuales de gestión eficiente y competitiva*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012.
- [30] Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, *Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo*. Ecuador, 2012.
- [31] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 3864-1:2013*. Ecuador, 2011.
- [32] J. P. Reyes Vásquez, "Distribución de Instalaciones," en *Estudio del Trabajo Aplicaciones en la Industria Ecuatoriana*, 1st ed., Ambato, 2014, pp. 56–57.

Metodología para la Medición de Parámetros de Sobretensiones Transitorias en Redes de Distribución de 11.4 kV*

Methodology for Measuring Transient Overvoltage Parameters in 11.4 kV Distribution Networks

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.06>

Artículo de investigación científica - Fecha de recepción: 10 de diciembre de 2014 - Fecha de aceptación: 25 de noviembre de 2015

Denis Amanda Acevedo Vásquez

Ingeniera Eléctrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá (Colombia). daacevedov@correo.udistrital.edu.co

Gloria Chacón Pedraza

Ingeniera Eléctrica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá (Colombia). ggchaconp@correo.udistrital.edu.co

Francisco Santamaría Piedrahita

Doctor en Ingeniería. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá (Colombia). fsantamariap@udistrital.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

D. A. Acevedo Vasquez, G. Chacón Pedraza y F. Santamaría Piedrahita "Metodología para la medición de parámetros de sobretensiones transitorias en redes de distribución de 11.4 Kv", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 65-72, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.06>

Resumen-- Debido a que las sobretensiones transitorias son un fenómeno que afecta a los sistemas de potencia, se requieren metodologías que permitan caracterizar este fenómeno a partir de sus parámetros principales (valor pico, duración y frecuencia de oscilación) de una forma práctica y no invasiva. El presente artículo tiene como objetivo presentar la metodología de medición de las sobretensiones en redes de distribución de 11,4 kV. Se presentan los conceptos y efectos más importantes acerca del fenómeno en estudio, el desarrollo de la metodología y las conclusiones más importantes de la investigación. La investigación desarrollada tuvo como etapa inicial la elaboración del estado del arte de las sobretensiones en redes de media tensión; posteriormente, se establecieron los parámetros más importantes de las sobretensiones que se buscaban estudiar y registrar; luego se estudiaron diferentes opciones para el diseño del sensor de campo eléctrico; y finalmente, se realizó el diseño detallado, la construcción y las pruebas del prototipo.

Palabras claves-- Calidad de potencia eléctrica; campo eléctrico; redes aéreas de media tensión; sistemas de medición; sobretensiones transitorias; medición de fenómenos transitorios.

Abstract-- Given that transient overvoltage is a phenomenon that affects power systems, different methodologies to characterize this phenomenon in a practical and non-invasive way using its main features (peak value, duration and frequency of oscillation) are required. Therefore, the authors of this paper proposed an investigation project: the development of a prototype for the registration of these parameters in 11,4 kV networks using a capacitive electric field sensor, the initial stage for the research carried out for the abovementioned project was the state of the art regarding surges in medium voltage networks; then, the most important parameters of the surge that wanted to be studied and recorded were established. Afterwards, different options for the design of the electric field sensor were analyzed and, then, the detailed design, construction and testing of the prototype was carried out. This paper aims to present the methodology for measuring voltages in distribution networks 11.4 kV developed as part of the investigation previously outlined. Hence, the most important concepts and effects of the phenomenon, the methodology developed and the key findings of the investigation are presented.

Keywords-- Power Quality; Electric Field; Aerial Medium Voltage Networks; Measuring Systems; Transient Overvoltage; Measurement of Transient Electrical Phenomena.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado: "Desarrollo de un prototipo para el registro de sobretensiones en redes de 11,4 kV". Financiado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Fecha de inicio: enero de 2013. Fecha de finalización: enero 2014.



I. INTRODUCCIÓN

El presente artículo presenta parte de los resultados obtenidos durante desarrollo del proyecto de grado titulado: Desarrollo de un prototipo para el registro de sobretensiones transitorias en redes de 11,4 kV [1]. Este proyecto se realizó en las siguientes etapas:

1. Elaboración del estado del arte sobre las sobretensiones en redes de media tensión.
2. Estudio de opciones para el diseño del sensor de campo eléctrico.
3. Diseño detallado del sensor.
4. Diseño detallado de la etapa de adquisición de datos.
5. Construcción y pruebas.

En este artículo los autores presentan la metodología de medición y registro de las sobretensiones que utiliza el prototipo construido. Esta metodología hace parte de los resultados más relevantes de la investigación ya que permite categorizar el fenómeno de acuerdo con sus parámetros más relevantes.

El proyecto de investigación que enmarca los resultados de este artículo toma como punto de partida que una sobretensión se define como cualquier tensión entre fase y tierra o entre fases con un valor pico que exceda el valor pico correspondiente del valor más alto para el equipo [1]. Las sobretensiones se clasifican en dos grandes grupos según su duración: permanentes y transitorias; en esta investigación fueron estudiadas las sobretensiones transitorias. Las sobretensiones transitorias se definen como una sobretensión de corta duración, de unos pocos milisegundos o menos, que puede o no ser oscilatoria y usualmente altamente amortiguada [1].

Las sobretensiones en las redes de media tensión hacen parte de la operación normal del sistema y se presentan, por ejemplo, por maniobras en las subestaciones y redes de media tensión tales como re-cierres de líneas, también se ocasionan debido a fallas fase – tierra en el sistema y debido a descargas atmosféricas directas o inducidas en el sistema. Adicionalmente, pueden ocasionar pérdida del suministro de energía, daños en equipos sensibles, daños en celdas aisladas en SF6, transformadores y líneas de media tensión, lo cual tiene importantes efectos negativos para los elementos que componen el sistema y para las cargas conectadas al mismo. Por lo expuesto anteriormente es importante caracterizar las sobretensiones transitorias de una forma sencilla y económica en comparación con los mecanismos convencionales que existen para realizar esta medición.

Este artículo presenta una metodología económica y de fácil implementación para registrar los principales parámetros de las sobretensiones transitorias en redes aéreas de media tensión. Se exponen cuatro secciones principales. Primero se hace necesario conocer las características más relevantes de las sobretensiones transitorias y, de esta manera, identificar las generalidades del fenómeno. Posteriormente, se exponen los principales efectos de las sobretensiones

transitorias en el sistema tomando algunos casos de estudio particulares en las redes de media tensión y, así, poner en evidencia la importancia del estudio de este fenómeno. Adicionalmente, se realiza una breve descripción de los mecanismos más comunes utilizados para la medición de diferentes fenómenos de calidad de potencia, y particularmente, de las sobretensiones transitorias. Por último, se propone una metodología para registrar los parámetros más importantes de las sobretensiones transitorias. Para concluir, se realiza una comparación entre los mecanismos existentes con la metodología propuesta para determinar las ventajas y desventajas de éstas.

II. SOBRETENSIONES TRANSITORIAS

Las sobretensiones transitorias se pueden clasificar de acuerdo con su forma de onda en las siguientes categorías:

A. Sobretensiones de frente lento

Es una sobretensión generalmente unidireccional con tiempo de subida T_1 , $0.1 < T_1 < 5000 \mu s$ y tiempo de cola $T_2 \leq 20ms$. Las causas más comunes de las sobretensiones de frente lento son [2]:

- Energización de redes
- Re-cierre o maniobras en el sistema
- Despeje de fallas monofásicas
- Rechazo de carga

B. Sobretensiones de frente rápido

Son sobretensiones generalmente unidireccionales de muy corta duración T_2 , $T_2 \leq 300 \mu s$, tienen una amplitud muy superior al valor nominal del sistema (4 a 6 veces); sus causas más comunes son [3]:

- Descargas atmosféricas conducidas
- Descargas atmosféricas inducidas
- Descargas atmosféricas directas en las redes aéreas

C. Sobretensiones de frente muy rápido

El valor pico de estas sobretensiones aumenta rápidamente pues es alcanzado en menos de $1 \mu s$. La oscilación posterior al frente de onda tiene una frecuencia aproximada máxima de 1 MHz y duración menor a 3 ms. Las causas más comunes de este tipo de sobretensiones son [3]:

- Maniobras en subestaciones de media tensión
- Fallas en subestaciones de media tensión

En la Tabla I se presentan las formas de onda características de cada tipo de sobretensión transitoria junto con sus principales parámetros de acuerdo con lo presentado en la norma IEC 60071-1 [1].

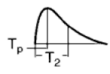
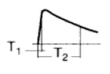
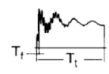
Como ya se estableció, las sobretensiones pueden clasificarse a partir de su forma de onda y este parámetro se relaciona con su causa, por lo cual al

momento de analizar las sobretensiones, unos de los parámetros más importantes a determinar son:

- Valor pico
- Duración del fenómeno

Estos dos parámetros son el punto de partida que permite categorizar los fenómenos, clasificarlos y estudiar sus efectos.

TABLA I. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS.

Clase de sobretensión	Transitoria		
	De frente lento	De frente rápido	De frente muy rápido
Forma			
Gama de forma (frecuencia, frente de subida, duración)	$5000 \mu s > T_p > 20 \mu s$ $T_2 \leq 20 ms$	$20 \mu s > T_1 > 0,1 \mu s$ $T_2 \leq 300 \mu s$	$100 ns \geq T_1 > 3 ns$ $0,3 MHz < f_1 < 100 MHz$ $30 MHz < f_2 < 300 MHz$ $T_1 \leq 3 ms$
Forma normalizada	$T_p = 250 \mu s$ $T_p = 250 \mu s$	$T_1 = 1,2 \mu s$ $T_2 = 50 \mu s$	(*)
Ensayo de tensión soportada normalizada	Ensayo de impulso tipo maniobra	Ensayo de impulso tipo rayo	(*)
(*) a especificar por el comité del producto considerado			

Fuente: [1].

III. EFECTOS DE LAS SOBRETENSIONES TRANSITORIAS

Las sobretensiones transitorias tienen importantes efectos negativos sobre los equipos que conforman los sistemas de potencia en alta, media y baja tensión y sobre las cargas de los usuarios residenciales, comerciales e industriales. En esta sección se muestran algunos casos de estudio que ilustran los efectos de este fenómeno sobre las redes.

A. Sobretensiones transitorias en motores

Cuando se presenta una sobretensión en el sistema de distribución de media tensión, ésta afecta a los equipos conectados a esta red, incluyendo cargas como motores. La magnitud de la sobretensión que afecta al motor depende de diferentes factores, como la topología de la red, las características de los alimentadores, la longitud del circuito alimentador, el tipo de motor y las demás cargas conectadas al circuito y barraje afectados [4]. Aunque estas características son particulares para cada caso, se pueden generalizar como se muestra a continuación:

- Para sistemas con mayores niveles de tensión, el tiempo de ascenso será menor; y para menores niveles de tensión, el tiempo de ascenso será mayor.
- Un mayor número de cargas conectadas al barraje afectado incrementa la magnitud de la sobretensión.

- Una mayor longitud del alimentador del motor incrementa el tiempo de ascenso. Adicionalmente, los cables apantallados, por tener una impedancia menor, hacen que se incremente la magnitud de la sobretensión.
- Los motores de gran potencia verán sobretensiones de menor magnitud y tiempos de ascenso mayores.

B. Sobretensiones ocasionadas por descargas atmosféricas en redes de media tensión

Las sobretensiones en redes de media tensión ocasionadas por descargas atmosféricas pueden ser de dos tipos:

Descargas atmosféricas directas: Este tipo de descargas atmosféricas ocurre debido a fallas en el sistema de apantallamiento de la línea y ésta es impactada directamente por la descarga atmosférica. Estas sobretensiones tienen valores pico muy altos debido a que las ondas viajeras se propagan en sentidos contrarios a partir del punto de incidencia del rayo y al encontrar un punto de discontinuidad se refleja retornando al punto de incidencia y se superpone con la onda incidente dando como resultado una sobretensión de una magnitud doble [5].

Descargas atmosféricas inducidas: Este tipo de descargas retornan por un canal ionizado cercano a la línea afectada en un radio aproximado de 200 m; la sobretensión es causada por el cambio brusco en el campo electromagnético producido por la corriente de retorno [6]. Este fenómeno ocasiona fallas fase – fase, daños en el aislamiento de las líneas y funcionamiento incorrecto de la red, causando así el 80% de las fallas en media tensión, y por lo tanto, es importante poder caracterizarlas y así establecer criterios para el diseño de dispositivos de protección (DPS) [7].

C. Sobretensiones de frente rápido en transformadores de distribución

Las redes de distribución generalmente utilizan bajos niveles de aislamiento y las cargas sensibles son particularmente susceptibles a las descargas atmosféricas, aspectos negativos de las redes y las cargas conectadas al sistema que puede afectar la confiabilidad de la red y fallas en el suministro, causando pérdidas económicas.

Generalmente, los transformadores de distribución están protegidos contra descargas atmosféricas por descargadores de sobretensiones instalados cerca de los terminales de media tensión del transformador; sin embargo, las fallas de los transformadores pueden ser ocasionadas por descargas atmosféricas originadas en el lado de baja tensión del transformador o por descargas transferidas desde el lado de media tensión del transformador. Estas sobretensiones transferidas se asocian al aumento

de la tensión en la puesta a tierra del transformador debido a la corriente que fluye a través de los descargadores de sobretensión de media tensión y al acople electromagnético entre los terminales de media y baja tensión [8].

Para los tres casos específicos expuestos anteriormente se pone en evidencia que el estudio y caracterización de las sobretensiones son de gran importancia para mitigar los efectos negativos y diseñar instalaciones confiables y menos vulnerables a los efectos de las sobretensiones transitorias.

IV. SISTEMAS DE MEDICIÓN DE LOS FENÓMENOS DE CALIDAD DE POTENCIA

Dentro de la amplia gama de equipos para la medición de parámetros de calidad de potencia podemos resaltar los siguientes, ya que son los más comunes dentro del mercado:

A. Medidores de calidad de potencia

Estos medidores funcionan por medio de sondas de tensión y corriente que se conectan de acuerdo con la topología del sistema y las necesidades de medición, por lo general estos equipos pueden registrar los siguientes parámetros:

- Potencia activa
- Potencia aparente
- Potencia reactiva
- Factor de potencia
- Energía (kWh)
- THDV, THDI
- Frecuencia
- Armónicos

Para obtener estos parámetros el equipo registra las ondas completas tanto de tensión como de corriente, realizando así los cálculos de potencia, energía y armónicos. Adicionalmente, se obtienen perfiles de carga y de tensión de acuerdo con las necesidades de los usuarios dentro de unos rangos determinados. Generalmente sólo realizan mediciones hasta 1000 Vrms, trabaja en frecuencias de 50/60 Hz y tiene un ancho de banda de 1.5 kHz [9].

B. Indicadores de fallas

Otros equipos conocidos como indicadores de fallas son instalados en las estructuras de las redes de media tensión, principalmente en redes rurales donde se dificulta determinar la ubicación de las fallas y se tienen zonas de difícil acceso. Estos indicadores funcionan con sensores capacitivos y puede detectar fallas de corto circuito, fallas a tierra y fallas fase – fase. Estos dispositivos tienen la posibilidad de enviar señales remotas a un centro de control del operador de red para que el manejo de las fallas sea eficiente y económico, y así mejorar la relación costo – beneficio ya que disminuye el tiempo de restable-

cimiento del servicio y, por lo tanto, los costos de las fallas, aumentando la confiabilidad del sistema. La frecuencia de operación de estos equipos en condiciones normales es de 50/60 Hz dependiendo de la frecuencia del sistema donde se instale [10].

C. Analizadores de redes

Los analizadores de redes comúnmente utilizados cumplen con las normas internacionales IEEE 519 e IEC61999-1-4 Clase 1. Estos equipos permiten analizar sistemas de potencia capturando el valor eficaz de las señales de tensión y corriente cada medio ciclo, permiten medir tensión, corriente y potencia, y por lo tanto, calcular cualquier parámetro de calidad de potencia. Adicionalmente, por medio de software tiene la posibilidad de realizar análisis estadísticos y tendencias con el fin de determinar los problemas que se presentan en los sistemas, además de las pérdidas económicas. Estos equipos funcionan en condiciones normales para señales con frecuencia de hasta 3 kHz [11].

Este tipo de analizadores funcionan por medio de sondas individuales de tensión y corriente para cada fase, neutro y tierra; esto hace que sea fácilmente configurable para diferentes topologías del sistema. Asimismo, algunos analizadores de redes cuentan con conexión Ethernet para la adquisición de los datos registrados en tiempo, y ranuras para memorias extraíbles que permiten almacenar gran cantidad de información y analizar los sistemas en amplios periodos de tiempo [12].

Los equipos más avanzados para analizar fenómenos de calidad de potencia pueden ser integrados a sistemas de control y gestión remotos y forman parte integral del control de las subestaciones y las redes en general, por lo cual facilitan el control del sistema de potencia haciéndolo más eficiente. Debido a esto, los operadores de red y las entidades gubernamentales involucradas en el control del sistema eléctrico de potencia tienden a implementar este tipo de sistemas en los nodos críticos del sistema, tales como fronteras comerciales, nodos de subestaciones y nodos en los cuales se presentan fallas regularmente.

Los mecanismos de registro mencionados anteriormente aplican para la medición de los fenómenos más comunes que afectan la calidad de potencia eléctrica para todos los niveles de tensión, sin embargo, para algunas aplicaciones estos dispositivos pueden ser costosos y difíciles de implementar ya que se requieren en diferentes nodos del sistema para obtener información confiable y lograr así la identificación del punto de falla o la dirección del cambio de la onda siguiendo su atenuación por la red.

Estos dispositivos tienen una frecuencia de muestreo de 100 kHz para un nivel de tensión máximo de 6 kV rms. Debido a estas características no es posible registrar sobretensiones transitorias en redes de media tensión, en especial las sobretensiones transito-

rias de frente muy rápido, ya que tienen frecuencias de oscilaciones de hasta 300 kHz [12]. Lo anterior ocasiona que los costos de los estudios de calidad de potencia para las redes de media tensión aumenten considerablemente, por lo tanto, se hace necesario desarrollar equipos para el registro de sobretensiones que sean económicos y de fácil implementación.

V. METODOLOGÍA

Tras revisar los diferentes mecanismos para la medición de factores que afectan la calidad de potencia y demostrar que sus costos los hacen poco accesibles, se busca desarrollar una metodología que permita efectuar el registro de parámetros relevantes de las sobretensiones transitorias, y de esta manera, evaluar de forma sencilla y rápida las posibles causas que las ocasionan.

De esta forma, teniendo en cuenta que los equipos comúnmente utilizados para medir y registrar fenómenos de calidad de potencia eléctrica tienen mecanismos de medición invasivos, y por lo tanto, complejos en su instalación e implementación, y que para poder obtener la información completa y confiable de la red bajo estudio se deben instalar equipos en diferentes puntos, éstos se convierten en opciones nada rentables económicamente debido al costo individual de cada equipo. A partir de lo expuesto anteriormente, se propone desarrollar una metodología alternativa enfocada en registrar parámetros importantes de las sobretensiones transitorias en redes de media tensión, teniendo como base un prototipo que hace uso de un sensor capacitivo de campo eléctrico no invasivo, económico y de instalación sencilla. Con este prototipo se van a registrar los siguientes parámetros de las sobretensiones transitorias dentro de unos rangos específicos:

- Valor pico
- Duración
- Frecuencia de oscilación (para sobretensiones de frente muy rápido)

En la Fig. 1 se ilustran las etapas a tener en cuenta para el funcionamiento del prototipo y cómo se incorpora entre la red con las sobretensiones transitorias que la afectan y los datos y resultados que requiere el usuario para identificar la causa de la perturbación y una posible solución.

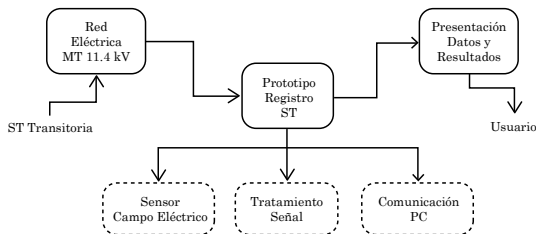


Fig. 1. Esquema general del prototipo para registrar parámetros de sobretensiones en redes de media tensión.

Fuente: Autor.

A. Sensor de campo eléctrico

El sensor de campo eléctrico basa su funcionamiento en el principio de operación de un divisor capacitivo, es decir, utilizando el sensor como una capacitancia conocida se genera una capacitancia parásita entre la línea y el sensor. Por medio de este conjunto se garantiza que el nivel de tensión visto desde el sensor sea de algunos voltios [13]. El sensor a implementar está conformado por dos placas circulares paralelas con una separación y un grosor específicos, aspectos que junto con el radio de las placas definen el valor de la capacitancia del sensor como en (1):

$$C_{sensor} = \frac{\pi * r^2 * \epsilon_0}{d} \tag{1}$$

Donde:

$r \rightarrow$ Radio de las placas circulares [m]

$\epsilon_0 = 8.854 * 10^{-12} \rightarrow$ Permitividad dieléctrica en el vacío [F/m]

$d \rightarrow$ Distancia de separación entre las placas circulares paralelas [m]

Para deducir un valor aproximado de la capacitancia generada entre la línea y el sensor se debe simular la totalidad del sistema, de esta manera se estimarán las tensiones producidas en el sensor a partir del divisor capacitivo, lo cual reduce las tensiones a unos cuantos voltios, niveles más sencillos de trabajar por medio de la electrónica básica. El diseño completo del sensor de campo eléctrico se presenta en [14].

El sensor recibe la señal de la sobretensión proveniente del sistema eléctrico, señal que está dada en voltios conservando una relación directamente proporcional de 1000 a 1. Esta señal debe ser tratada para adquirir únicamente los parámetros de interés para la adecuada clasificación de la sobretensión transitoria según su posible causa, lo anterior manteniendo la siguiente etapa dentro de las condiciones de economía y efectividad frente a los equipos convencionales.

B. Tratamiento de la señal

En esta fase se realiza el acondicionamiento de la señal adquirida por el sensor y de la cual se deben obtener ciertos parámetros. Lo anterior se obtiene por medio de la utilización de dispositivos electrónicos, procurando siempre mantener la simplicidad del mecanismo en términos de cantidad de elementos electrónicos a utilizar para reducir al máximo los factores externos que pueden llegar a afectar y/o distorsionar la señal original y, por ende, desviar el resultado que se obtenga. Al elaborar esta fase por etapas se garantiza su modularidad, la verificación de errores y la posibilidad de realizar mejoras a futuro. A continuación, en la Fig. 2 se muestran las partes que conforman la fase de tratamiento de la señal.

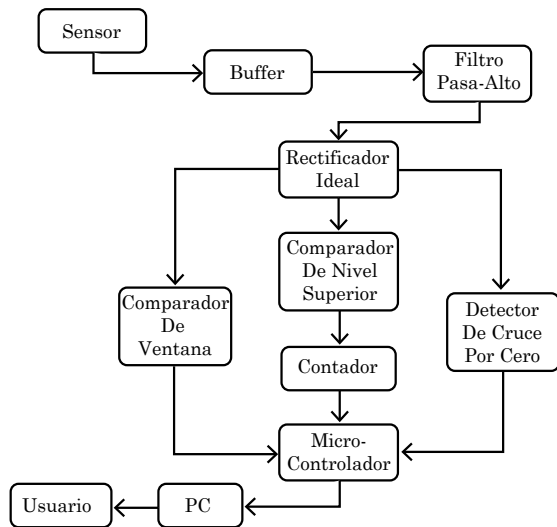


Fig. 2. Diagrama de bloques del tratamiento electrónico de la señal adquirida.
Fuente: Autor.

Como primer elemento entre la señal y esta fase se emplea un buffer, el cual se utiliza para el acople de impedancias en el sistema. Posteriormente, se utiliza un filtro pasa-altos para eliminar las frecuencias menores a 1 kHz, ya que las frecuencias de interés se encuentran por encima de los 30 kHz [1]. La siguiente etapa es un rectificador que permite discriminar las componentes positivas y negativas, las sobretensiones transitorias positivas son con frecuencia más críticas para un sistema eléctrico que las sobretensiones transitorias negativas [15] y [16], por tal razón las componentes negativas no serán evaluadas, sin embargo, en la configuración del rectificador implementado se puede recuperar la parte de la componente negativa de ser necesaria para la realización de un estudio más detallado. Adicionalmente, este elemento permite aislar la sobretensión dejando únicamente esta perturbación, mientras que el resto de la señal senoidal y el ruido propio de la red están en ceros.

Luego se presentan tres etapas adicionales las cuales deben disponerse en paralelo para que la señal de entrada a éstas sea la misma en el mismo momento: la primera de estas etapas es una configuración de comparadores de ventana, los cuales permiten identificar dentro de qué rango determinado se encuentra el valor pico de la sobretensión transitoria; la segunda etapa es otra configuración de comparador, pero esta vez de nivel superior, al cual se le establece un nivel de comparación cercano a cero para que al pasar dicho umbral active un contador y de esta manera se pueda establecer el rango de tiempo para obtener la duración del evento; la tercera etapa consiste en un detector de cruce por cero con el cual se podrá verificar si la señal obtenida es oscilatoria.

Después de obtener estas diferentes salidas, todas de naturaleza análoga, se prosigue a direccionar esas salidas a los puertos del microcontrolador previamente programado, y de esta manera, utilizar las virtudes de este elemento para realizar la comunicación entre la fase electrónica y el PC, convirtiendo la información adquirida en datos admisibles para el puerto USB del computador. En la Tabla II se muestran las categorías que se establecen a partir de los parámetros de evaluación.

TABLA II. CATEGORÍAS PARA CLASIFICACIÓN DE SOBRETENSIONES TRANSITORIAS.

Categoría	Parámetro		
	Valor pico (p.u.)	Frecuencia de oscilación (kHz)	Duración (s)
I	N/I	N/I	N/I
II	1.5 - 4	NA	≤ 20 ms
III	4 - 6	NA	≤ 300 us
IV	6 - 10	30 - 300	≤ 3 ms

Fuente: Autor.

- Categoría I: El equipo no registra información.
- Categoría II: Sobretensión ocasionada por maniobras.
- Categoría III: Sobretensión ocasionada por descargas atmosféricas.
- Categoría IV: Sobretensión ocasionada por descargas atmosféricas inducidas.

La evaluación de los parámetros se hace iniciando por el valor pico, continuando con la duración del fenómeno y, por último, la frecuencia de oscilación. De esta forma se pueden descartar las categorías a las que no pertenece el fenómeno. Además, es importante evaluar mínimo dos parámetros para establecer una mayor certeza en el resultado obtenido.

En el siguiente ejemplo se clarifica el método de utilización de la Tabla II para la categorización de las sobretensiones transitorias.

- *Datos obtenidos por el prototipo:*

Valor pico (p.u.) = se registra información al límite de las categorías III y IV.

Duración (s) = se registra información que puede pertenecer a las categorías III y IV.

Frecuencia de oscilación (kHz) = se registra información.

- *Evaluación de información:*

El valor pico obtenido se encuentra en el límite de las categorías III y IV, por lo cual se debe evaluar un segundo parámetro. Al validar que la duración obtenida vuelve a encontrarse contenida en las categorías III y IV, se hace necesaria la evaluación del último parámetro. Se presenta una frecuencia de os-

cilación de 50 kHz, descartando así la categoría III puesto que ésta no presenta dicho parámetro, dejando como categoría resultante la IV (sobretensión ocasionada por descargas atmosféricas inducidas). De esta forma se descartan las categorías que no presentan datos en sus rangos establecidos. Aunque se dispone un orden para evaluar los datos en los parámetros, se puede optar por revisar el más relevante, por ejemplo, si el evento es oscilante se adjudicara el fenómeno directamente a la categoría IV.

Adicionalmente, se elabora una interfaz usuario – máquina en LabView que permite mostrar de manera sencilla y agradable al usuario los resultados obtenidos por el prototipo de registro de sobretensiones transitorias.

VI. RESULTADOS

Puesto que la metodología de registro tiene como objetivo categorizar la sobretensión transitoria mas no reproducir la señal ni presentar valores exactos de los parámetros de interés de la onda, se establece que este prototipo es un elemento de calidad estadística.

La identificación de las posibles causas que generan la sobretensión transitoria en el sistema es suficiente para orientar los esfuerzos a la mitigación y protección de la red sin necesidad de poseer los valores exactos de los eventos, puesto que la realización de estudios previos en la calidad de potencia ya permiten conocer las características específicas de estos disturbios, por lo cual solamente se requiere ubicar los puntos más susceptibles y frágiles para adoptar cuidados específicos frente a sus causas y reducir así sus efectos.

Para la implementación del prototipo propuesto no es necesaria la realización de ninguna maniobra de corte del servicio eléctrico, ya que no requiere de una conexión física con la línea. Esta es otra de las razones por las cuales su ubicación en diferentes puntos de la red es sencilla y rápida. Adicionalmente, la posible pérdida de un ejemplar afecta de forma mínima el aspecto económico del estudio ya que la suma del valor comercial de sus elementos constructivos en conjunto no superara el valor de ningún equipo de medición de calidad de potencia eléctrica convencional.

VII. CONCLUSIONES

El estudio de los fenómenos de calidad de potencia eléctrica cobra gran importancia puesto que tienen efectos negativos tanto técnicos como económicos sobre las instalaciones afectadas y los usuarios conectados a ellas. Sin embargo, las diferentes metodologías implementadas para la medición de parámetros de calidad de potencia son invasivas y requieren de sondas en cada uno de los puntos o nodos donde se va a realizar la medición, lo cual no

resulta conveniente para las diferentes topologías de red utilizadas.

La metodología propuesta busca facilitar el desarrollo de estrategias para la mitigación de los efectos negativos de las sobretensiones transitorias en redes de media tensión, específicamente la red de 11.4 kV.

El prototipo que forma parte de la metodología planteada se puede instalar fácilmente en diferentes nodos del sistema para la realización de un estudio de calidad de potencia debido a su bajo costo y su mecanismo de registro no invasivo. Además, está orientado al desarrollo de estudios de naturaleza estadística mas no determinística, lo anterior obedece al uso de rangos de datos y no de valores exactos.

La modularidad que se plantea para el prototipo desde el sensor, pasando por la fase de adquisición y tratamiento de datos hasta la interfaz usuario – máquina permitirá realizar mejoras a futuro, tales como: adaptación a diferentes topologías de red, adecuación para otros niveles de tensión, entre otras. De igual manera, al elaborar la fase electrónica por etapas se puede realizar verificación de errores paso a paso para obtener una mayor confiabilidad en los resultados.

REFERENCIAS

- [1] High Voltage Engineering Sectional Committee, IS/IEC 60071-1. Insulation Co-ordination, Part 1: Definitions, Principles and Rules. India, 2006.
- [2] M. Lanphier, P. K. Sen y J. P. Nelson, "An Update on Surge Protection of Medium Voltage Motors: A Comparison of the Standards and Applications," in 2007 4th European Conference on Electrical and Instrumentation Applications in the Petroleum & Chemical Industry, 2007, pp. 1–8.
- [3] M. A. Omidiora y M. Lehtonen, "Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009 Proceedings of the 44th International," in Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2009 Proceedings of the 44th International, 2009, pp. 1–5.
- [4] "IEEE Std. C62.21-2003/Cor 1-2008 (Corrigendum to IEEE Std C62.21-2003)," in IEEE Std. C62.21-2003/Cor 1-2008 (Corrigendum to IEEE Std C62.21-2003), 2008, pp. 1–12.
- [5] S. Wang, C. Sun, L. Zhang, L. Du y S. Xi, "Identifying the Internal and the External Overvoltage of Distribution Networks Based on Fisher Discriminate Method," in 2006 International Conference on Power System Technology, 2006, pp. 1–4.
- [6] J. A. Martínez Velazco y F. Castro Aranda, Análisis de sobretensiones de origen atmosférico en líneas aéreas de transporte, Catalunya: Universitat politècnica de Catalunya, 2002.
- [7] M. Vassileva, M. Yordanova, Y. Rangelov y N. Nikolaev, "Simulation of the process of arising and limitation of lightning surges in medium voltage power grids," in 2013 12th International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2013, pp. 180–185.
- [8] P. N. Mikropoulos, T. E. Tsovilis, Z. Politis y A. G. Kagiannas, "Evaluation of fast-front overvoltages arising at a 20/0.4 kV distribution transformer," in 7th Mediterranean Conference and Exhibition on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2010), 2010, pp. 191–191.

METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE SOBRETENSIONES
TRANSITORIAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN DE 11.4 KV

- [9] Fluke, "Registrador trifásico de calidad eléctrica Fluke 1750." [En línea]. Disponible en: <http://www.fluke.com/fluke/coes/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Elctrica/Logging-Power-Meters/Fluke-1750.htm?PID=56030> [Consultado en ago. 9, 2014].
- [10] V. A. Gómez, R. A. Peña y C. Hernández, "Identificación y localización de fallas en sistemas de distribución, utilizando medidores de calidad del servicio de energía eléctrica," *Rev. Científica*, no. 14, pp. 177–184, jul. 2012.
- [11] Fluke, "Búsqueda de manuales Fluke." [En línea]. Disponible en: http://assets.fluke.com/manuals/1730_____umspa0000.pdf [Consultado en ago. 8, 2014].
- [12] Fluke, "Logging power Meters." [En línea]. Disponible en: <http://www.fluke.com/fluke/coes/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Elctrica/Logging-Power-Meters/Fluke-435-Series-II.htm?PID=73939> [Consultado en ago. 9, 2014].
- [13] C. F. Ramírez, *Subestaciones de alta tensión y extra alta tensión*, 2nd ed. Medellín, 2003.
- [14] D. Warne y A. Haddad, *Advances in High Voltage Engineering*. Londres: IET, 2004.
- [15] J. F. Perkins, "Evaluation of Switching Surge Overvoltages on Medium Voltage Power Systems," *IEEE Trans. Power Appar. Syst.*, vol. PAS-101, no. 6, pp. 1727–1734, jun. 1982.
- [16] B. Eliert y M. Runar, "Efficient Outage Management using Fault Passage Indicators," in *International Conference on T&D Asset management for electric utilities*, 2008.

Análisis de la Seguridad en los Sistemas de e-Gobierno mediante el Problema SAT*

Security Analysis of e-Government Systems Using SAT Problem

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.07>

Artículo de investigación científica - Fecha de recepción: diciembre 29 de 2014 - Fecha de aceptación: 22 de septiembre de 2015

Mónica Marlene Baquerizo Anastacio

Máster Universitario en Investigación en Informática. Universidad de Guayaquil, Guayaquil (Ecuador).
monica.baquerizo@ug.edu.ec

César Byron Guevara Maldonado

Máster Universitario en Investigación en Informática. Universidad Complutense de Madrid, Madrid (España).
cesargue@ucm.es

Para citar este artículo / To reference this paper:

M. M. Baquerizo Anastacio y C. B. Guevara Maldonado., "Análisis de la seguridad en los sistemas e-gobierno mediante el problema SAT," *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 73-79, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.07>

Resumen-- La propuesta de esta investigación es evaluar la seguridad en los sistemas de e-gobierno con marcos de seguridad existentes y las bases de la satisfactibilidad booleana. El modelo propuesto consta de dos partes que son: la construcción de cinco marcos de seguridad basados en normas internacionales y la construcción de un modelo de evaluación de seguridad administrativa. Esta propuesta permitirá plantear el problema de la seguridad de forma matemática y conocer si la seguridad propuesta por el administrador de e-gobierno es satisfactoria o no. El modelo ha sido implementado y alimentado con los indicadores de seguridad investigados con el fin de poner a disposición de los administradores una herramienta que facilite el proceso de análisis de los factores que son cruciales para la seguridad de sus sistemas. Con este modelo se pretende ayudar a la toma de decisiones al momento de añadir o remover factores de seguridad que han demostrado óptimos resultados en la etapa de experimentación.

Palabras claves-- E-gobierno; seguridad administrativa; satisfactibilidad booleana; marcos de seguridad; modelo de evaluación de seguridad.

Abstract-- The proposal of this research is to evaluate e-government security systems with current security frameworks and the Boolean satisfiability bases. The proposed model consists of two segments: the construction of five security frameworks based on international standards and the construction of an evaluation model for administrative security. This proposal poses the security breach problem using mathematical models in order to determine whether a security strategy proposed by the e-government administrator is successful or not. The model has been implemented and powered with the safety indicators studied in order to provide administrators a tool that facilitates the process of analyzing the factors that are crucial for their security systems. This model is intended to help the decision-making process when adding or taking out safety factors that have demonstrated optimum results in the experimental stage.

Keywords-- e-Government; Security Management; Boolean Satisfiability; Security Frameworks; Security Evaluation Model.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado: "Seguridad en E-Gobierno". Financiado por SENESCYT Ecuador. Fecha de inicio: octubre 2012 - Fecha de finalización: febrero 2017.



I. INTRODUCCIÓN

Con el avance de la tecnología, los gobiernos innovaron la manera de interactuar creando portales que brindan diferentes tipos de servicios a las instituciones y ciudadanos en general. Esta transformación de relaciones internas y externas del sector público a través de las tecnologías de la información que aumenta la eficiencia, la eficacia de la gestión administrativa y la participación ciudadana se la denomina *gobierno electrónico* [1].

La información que el gobierno tiene en sus repositorios es de diferente índole y proviene de toda la sociedad. Debido a que el gobierno se relaciona con todos en una nación, éste tiene información pública, privada y clasificada de cada uno de ellos.

Sin duda alguna, la evolución e innovación gradual de este tipo de sistemas está dada por muchos factores como la tecnología, la efectividad en los servicios brindados, la satisfacción del usuario, etc. A partir del hecho de que los datos están expuestos en Internet, la vulnerabilidad de éstos crece ya que pueden sufrir ataques cibernéticos. Cualquiera que fuera la tecnología usada, los sistemas de e-gobierno tienen que ser seguros debido a la sensibilidad de los datos que manipulan.

A causa de que las TIC llegan a ser estratégicas para brindar un servicio eficiente y eficaz, es esencial la administración correcta de las mismas. Enfocarse en la protección de toda la infraestructura computacional, tanto física, lógica y administrativa, es hablar de seguridad informática; sin embargo, en este trabajo sólo analizaremos la seguridad administrativa, la cual trata de suministrar, proporcionar, distribuir y velar por el cumplimiento de normas y políticas de seguridad de todas las TIC en una organización de manera integral, comprometiendo desde los altos mandos hasta el personal operativo.

La seguridad administrativa es fundamental, ya que da a conocer si las organizaciones están alineadas a normas internacionales, si cumplen con requerimientos de seguridad estándares, si se tiene una buena gestión de recursos, entre otros. Es por ese motivo que este trabajo pretende desarrollar un modelo que ayude a los administradores de sistemas de e-gobierno a analizar los factores de seguridad. Para este fin, se examinaron los marcos referenciales que identificaron factores de seguridad administrativa, y el problema de la satisfactibilidad booleana ayudó a plantear esos factores matemáticamente para conocer si la propuesta por el administrador de e-gobierno es satisfacible o no. El modelo fue implementado en el lenguaje de programación Java y la base de datos de Mysql; asimismo, tuvo pruebas experimentales.

El artículo está estructurado de la siguiente manera. En la sección II se presenta la importancia de la seguridad y los marcos de seguridad que hemos

considerado en esta investigación. En la sección III se explica el problema de la satisfactibilidad booleana y su objetivo. Posteriormente, se expone nuestra propuesta, que modelará el conocimiento de las ISO (International Standard Organization) y su desarrollo utilizando SAT (Boolean satisfiability problem); y finalmente, en la sección IV se detallan las conclusiones.

II. IMPORTANCIA DE LA SEGURIDAD Y MARCOS EXISTENTES

Estudios han demostrado que los aspectos no técnicos son tan importantes como los técnicos al momento de salvaguardar una organización, y estos aspectos no técnicos están relacionados con la administración de los recursos [2]. Es por este motivo, que la seguridad también tiene que ser administrada. La seguridad informática podría definirse como un conjunto de procedimientos, dispositivos y herramientas que reducen los posibles riesgos a los bienes en una organización [3].

En los sistemas informáticos vamos a encontrar bienes tangibles, como la infraestructura física, servidores, humanos, redes, etc., e intangibles, como la información, servicios que se prestan, aplicaciones desplegadas, conocimiento organizacional, etc. La seguridad informática debe establecer normas que minimicen los riesgos a toda la infraestructura.

La seguridad de éstos es un factor crucial, por lo que se requiere de medidas fuertemente preventivas, tanto tecnológicas como administrativas. Un punto importante de la seguridad es el de la información, la cual tiene que estar fundamentada bajo tres aspectos [4]:

A. Confidencialidad

Un sistema de e-gobierno tiene que ser confiable porque debe garantizar la protección, clasificación y seguridad de la información que alberga en sus servidores, sea ésta clasificada, pública, reservada, datos personales o institucionales. Por esta razón, el acceso a la información sólo la deben realizar los individuos que tengan autorización.

B. Integridad

La integridad se refiere a asegurar que la información que fue generada y guardada en los repositorios sea verdadera, sin ser manipulada o alterada por usuarios o procesos no autorizados.

C. Disponibilidad

La disponibilidad es la condición de la información de encontrarse a disposición de personas, procesos o aplicaciones en el momento que así lo requieran.

Marcos Existentes

Actualmente hay un sin número de marcos referentes a la administración de la seguridad. En esta investigación se consideran cinco categorías: seguridad integral, seguridad Web, computación en la nube, infraestructuras críticas, y gobierno y gestión TI. El motivo por el cual se decidió analizarlas es porque un sistema de gobierno electrónico es tan sensible que es necesario salvaguardar su infraestructura desde varias aristas.

En el caso del marco de seguridad integral, se necesita administrar la seguridad de la información, tanto en el ámbito administrativo como operacional, y tener medidas de control [5]. Al ser un sistema de e-gobierno Web, es necesario que la aplicación considere parámetros de seguridad necesarios para una plataforma en Internet.

El marco la computación en la nube lo consideramos porque actualmente es la tendencia; la mayoría de los gobiernos están optando por este nuevo modelo que permite el acceso bajo demanda [6]. Un sistema de e-gobierno es tan crucial que debe tratarse dentro de las infraestructuras críticas que tiene un país, guardando protocolos de seguridad que salvaguarden el sistema de e-gobierno.

Finalmente, estimamos la importancia de un gobierno y gestión TI, ya que debería de existir un compromiso, tanto de la parte directiva (gobierno TI) como de la parte operativa (gestión TI). El gobierno TI traza una dirección estratégica a seguir, mientras que la gestión planifica, construye, ejecuta y controla actividades alineadas con la estrategia establecida por el gobierno TI [7]. A continuación se detallan los marcos existentes en cuanto a las aristas propuestas.

Las ISO 27000, 27001, 27002 y SANS buscan salvaguardar la seguridad desde aspectos físicos hasta lógicos. En cuanto a la seguridad de las aplicaciones, tenemos las normas OWASP, ISO 27000, el marco CCN-STIC-812 de España, etc., las cuales contemplan parámetros y guías estratégicas para la seguridad de una aplicación en línea.

Las ISO 38500, 20000, COBIT, Calder Moir e ITIL son marcos y estándares que ayudan a un gobierno y gestión TI [8], [9], [10] y [11]. El marco de gobierno y gestión TI es estratégico debido a que si el estado decidiera implementar un gobierno TI, la organización, planificación y ejecución de proyectos se realizaría de una manera más eficiente beneficiando así a toda una nación.

En cuanto a la computación en la nube, las ISO 27000, CCN-STIC-823 y SANS, entre otras, son guías de seguridad para un sistema de computación en la nube.

Otro marco considerado es el de infraestructuras críticas. Así como se disfruta de los beneficios

del avance de las TIC, también debemos considerar que éstas pueden ser utilizadas con fines maliciosos por terroristas. Éstos podrían tener fines personales, económicos, religiosos, o de cualquier otra índole. Debido a los ciberataques, los países empiezan con la identificación, priorización y protección de las infraestructuras críticas [12]. La Comisión Europea define como infraestructura crítica a aquellas instalaciones, redes, servicios, equipos físicos y tecnologías de la información cuya interrupción o destrucción pueden tener una repercusión importante en la salud, la seguridad o el bienestar económico de los ciudadanos o en el eficaz funcionamiento de los gobiernos [12]. Como guías para esta sección, se han considerado la Estrategia de Seguridad Nacional y la Ley 8/2011 del gobierno español y la Strategic Plan Fiscal Years 2012-2016 del gobierno de los Estados Unidos.

Los sistemas de e-gobierno, al manipular datos privados de ciudadanos e instituciones de un país, se convierten en una infraestructura crítica, debido a la sensibilidad de estos datos que se albergan en los servidores gubernamentales. Un sistema de gobierno electrónico debe tener la capacidad de estar preparado para adaptarse a cambios inesperados en su plataforma y para recuperarse rápidamente de interrupciones que pudiera tener el servicio ante ataques, accidentes naturales o antrópicos, e incidentes o amenazas virtuales o físicas, y así poder garantizar el servicio a la comunidad [13]. Es por este motivo que es fundamental que la infraestructura lógica y física de los sistemas de gobierno electrónico se considere dentro del plan estratégico de protección de infraestructuras críticas de un país.

III. EL PROBLEMA DE LA SATISFACTIBILIDAD

El problema de satisfactibilidad booleana (SAT) tiene como objetivo evaluar toda una fórmula constituida por conectores lógicos que puede ser verdadera, dando a sus variables booleanas valores de verdadero o falso [14]. Procedimientos como SAT27 pueden comprobar fórmulas con cientos de miles de variables debido a las innovaciones de los algoritmos básicos, la estructura de datos y el uso de los modernos microprocesadores. El progreso de los *SMT solvers*, ha permitido que se utilicen para demostrar teoremas, análisis de programas en desarrollo, estáticos y en ejecución, y planeación y programación de trabajos en el microprocesador [15] y [16].

Mediante el planteamiento del problema del SAT, podemos conocer si los factores de seguridad sugeridos por el administrador para la plataforma e-gobierno son válidos. De ser así, la propuesta satisface la seguridad, caso contrario, se tendría que revisar los factores que no permiten tener una seguridad adecuada. A continuación, el planteamiento del SAT.

A. Planteamiento del problema SAT

Lógica proposicional y definiciones

La lógica proposicional es una formalización matemática que estudia las proposiciones (Fig. 1), sus valores de verdad y su nivel absoluto de verdad a partir de los operadores lógicos.

Los operadores lógicos son: disyunción (V), conjunción (A), negación (¬), entre otros. Para resolver problemas SAT se utilizan los tres operadores lógicos mencionados.

Los valores de verdad pueden ser: verdadero o falso {0,1}, pero nunca una variable puede tomar los dos valores a la vez. Hay diferentes asignaciones que pueden ser definidas sobre el conjunto de variables proposicionales.

Las variables proposicionales (VP) son el conjunto de variables proposicionales $X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$. Éstas pueden tomar el valor de verdadero y falso, en caso de que esté precedida por el símbolo de negación.

Literal: es una variable proposicional o la negación de la misma.

Cláusula: es una disyunción de literales (V). Una cláusula puede ser unitaria, es decir, que contiene un solo literal.

Fórmula: está dada por la conjunción de las cláusulas.

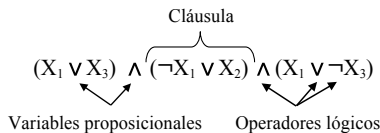


Fig. 1. Fórmula que representa un problema SAT. Fuente:[17].

Mediante el problema de la satisfactibilidad, podemos analizar factores de seguridad (variables proposicionales) y conocer si estos factores hacen que la seguridad sea satisficible en el planteamiento propuesto.

IV. PROPUESTA

Actualmente existen marcos de seguridad, estándares internacionales, marcos referenciales, guías de seguridad, entre otros, que permiten la administración de la seguridad. Cada uno gira en torno a enfoques diferentes pero con un mismo fin: preservar la seguridad integral, física y lógica institucional.

La propuesta aquí planteada consiste en utilizar el problema de la satisfactibilidad booleana para modelar el conocimiento de los estándares internacionales, marcos referenciales, guías de seguridad y conocer si los requerimientos propuestos por los administradores cumplen con requerimientos de seguridad basados en normas internacionales.

La propuesta está dividida en dos partes:

- a. La construcción de los marcos de seguridad basados en normas internacionales.
- b. La implementación de un modelo basado en indicadores de seguridad mediante el problema de satisfactibilidad booleana.

A. Construcción de los marcos de seguridad

Un marco es un conjunto de buenas prácticas para la gestión en alguna área específica [5]. Basados en este concepto decidimos realizar cinco marcos de seguridad estratégicos (Fig. 2) en las siguientes áreas:

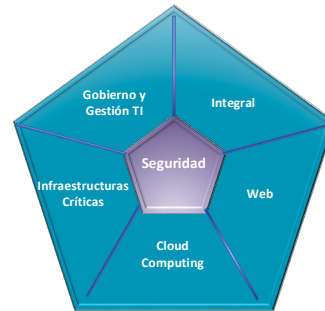


Fig. 2. Marcos que se han analizado. Fuente:[17].

Basados en la recopilación de estándares, guías, leyes, marcos internacionales, de países líderes en administración de TIC, en este trabajo se generaron marcos de seguridad propios.

Los marcos generados se han dividido en secciones (Fig. 3). En el caso de marco de gobierno y gestión TI hay tres grandes aristas: marco administrativo, operacional y medidas de protección. Para cada una de ellas, se recopilaron diferentes indicadores relevantes de los estándares y marcos existentes como: ISO 27000, 27001, 27002, Guía de seguridad (CCN-STIC-804), SANS, e-Government: Strategy Framework Policy and Guidelines. A continuación se presenta un diagrama con sus secciones principales:

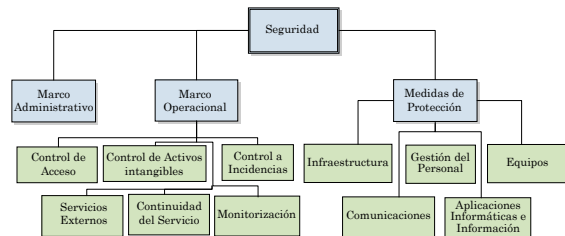


Fig. 3. Diagrama del marco de seguridad integral. Fuente: [17].

Al ser el sistema de e-gobierno una aplicación web, es necesario construir este marco de seguridad. Para su construcción nos basamos en la Guía de seguridad de las TIC (CCN-STIC-812), ISO 27000,

27001, SANS y guías OWASP. A continuación, en la Fig. 4 se muestran las secciones principales de este marco:

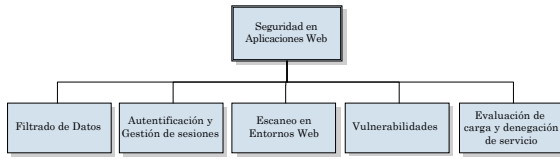


Fig. 4. Diagrama del marco de seguridad para aplicaciones Web.
Fuente: [17].

Si un gobierno decide tener una plataforma en la nube, es imperante cumplir con ciertos elementos de seguridad. Es por este motivo que también construimos un marco con base en las ISO 27001, 27002, Guía/Norma de seguridad de las TIC (CCN-STIC-823) y SANS. Las secciones de este marco se muestran en la Fig. 5:

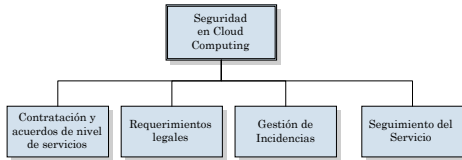


Fig. 5. Diagrama del marco de seguridad para la computación en la nube.
Fuente: [17].

Los sistemas de e-gobierno tienen información delicada, por ese motivo se clasifica como una infraestructura crítica y se consideró importante realizar un marco en esta categoría (Fig. 6). Este marco fue construido con base en la Estrategia de Seguridad Nacional, la Ley 8/2011 del 28 de abril del Gobierno de España y la Department of Homeland Security Strategic Plan Fiscal Years 2012-2016 del Gobierno de Estados Unidos.



Fig. 6. Diagrama del marco de seguridad para infraestructuras críticas.
Fuente: [17].

Todas estas tecnologías deben tener un responsable que lidere la administración de los recursos informáticos a nivel nacional. Es por esto que también se consideró realizar un marco para la administración de las TIC (Fig. 7). Este marco tiene dos partes, el Gobierno TI y la Gestión TI. El gobierno TI se establece a nivel de directiva, mientras que el de gestión se da en los medios mandos hasta el operacional. Este marco se basó en la ISO 38500 para Gobierno TI, ISO 20000 para Gestión TI y los marcos COBIT 5 y Calder Moir para el marco en general.

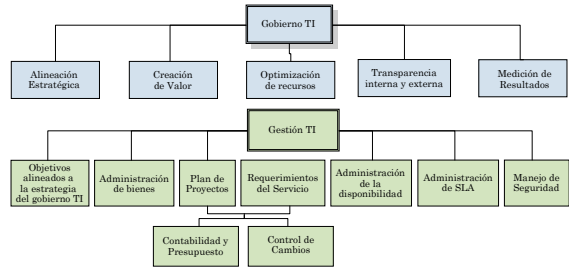


Fig. 7. Diagrama del marco de gobierno y gestión TI.
Fuente: [17].

B. Implementación de un modelo de seguridad mediante el problema de satisfactibilidad booleana.

En la construcción de cada marco de seguridad se recolectaron los indicadores y se agruparon por secciones según su afinidad. Cada sección tiene indicadores que se tienen que cumplir para asegurar la seguridad en esa sección. Hay que considerar que un indicador puede estar relacionado con otro indicador de una sección diferente.

Producto de la construcción de los marcos de seguridad, tenemos un sin número de indicadores, que básicamente constituyen el conocimiento extraído de las diferentes normas. Todos estos indicadores se almacenaron en una base de datos y se analizaron para la construcción de las cláusulas. Por ejemplo, en el marco de seguridad integral tenemos entre los indicadores:

1. Existencia de una Dirección general.
2. Tener procedimientos, normas, protocolos de seguridad.

De estos requerimientos que son indispensables para el marco de seguridad se puede inferir la siguiente cláusula:

Si existe una Dirección general entonces todos los procedimientos, normas y protocolos de seguridad deben de estar aprobados y firmados por el Comité o Dirección general.

El indicador de “existencia de una Dirección general” es la variable 1 y el indicador “todos los procedimientos, normas, protocolos de seguridad deben estar aprobados y firmados por el Comité o Dirección general” es la variable número 2. En lenguaje natural podemos crear la cláusula $1 \rightarrow 2$, pero el problema de satisfactibilidad necesita una fórmula en lenguaje proposicional. En lógica proposicional básica sabemos que $p \rightarrow q = \neg p \vee q$, por consecuencia la fórmula $1 \rightarrow 2$ es equivalente a $\neg 1 \vee 2$ (Fig. 8).

$$\begin{array}{ccc}
 1 & \rightarrow & 2 \\
 \text{Variables} & & \text{Lenguaje proposicional}
 \end{array}
 = \neg 1 \vee 2$$

Fig. 8. Lenguaje proposicional.
Fuente: [17].

Una variable de una sección puede estar relacionada con cualquier otra de secciones diferentes, por ejemplo:

Si todos los procedimientos, normas y protocolos de seguridad están aprobados y firmados por el Comité o Dirección general entonces la normativa de seguridad debió ser revisada por el departamento de asesoría legal (Fig. 9).

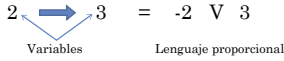


Fig. 9. Lenguaje proposicional. Fuente:[17].

La variable 2 está en una sección diferente de la variable 3. Una cláusula puede estar formada por una o muchas variables. De esta forma se empiezan a formar cláusulas con cada indicador que está en cada marco de seguridad. Todo este conocimiento se almacena en una base de datos y se proporciona a cada indicador un identificador único. Todo este conocimiento fue expresado en lógica proposicional y almacenado en una base de datos.

Plataforma tecnológica

Con los indicadores de seguridad recolectados a lo largo de esta investigación y con la ayuda de los beneficios de SAT, se realizó un sistema que evalúe la propuesta de seguridad del administrador de sistemas de e-gobierno para conocer si ésta es viable, es decir, si la seguridad es satisfacible según el conocimiento modelado basado en estándares internacionales.

El sistema se implementó en lenguaje Java y se ha usado la librería *Sat4j: SAT tooltit in Java*, que implementa *solvers* para la solución de problemas SAT [16].

La implementación de este sistema tiene como fin conocer qué variables de seguridad impactan según la elección de los administradores, ya sea que ellos elijan las variables porque así está implementado en la institución, o que quizás se quieran implementar tan sólo ciertos aspectos y el administrador no sabe cuál elegir.

Ejecución de la aplicación

Para ejemplificar se puede suponer que un administrador quiere implementar soluciones de seguridad según las limitaciones del presupuesto asignado. Elige las variables que él considere pertinente y manda a analizar al sistema. En caso de que los indicadores den como resultado una respuesta satisfacible, él podrá observar las variables que impactan en su decisión, y en caso de que no sea así dará como resultado que, según los indicadores elegidos, no satisfacen la fórmula. El fin es ayudar al administrador a conocer qué variables influyen en su decisión y hacen que el sistema sea satisfacible.

En el sistema se presentan las cinco opciones de marcos referenciales de seguridad investigados: seguridad, computación en la nube, gobierno y gestión TI, aplicaciones Web e infraestructuras críticas. Entonces, el usuario tiene que elegir qué tipo de evaluación va a realizar (Fig. 10).



Fig. 10. Elección del marco a evaluar. Fuente: [17].

Una vez que se ha elegido el marco a evaluar aparecen las secciones pertenecientes a ese marco para que el administrador elija las secciones que considere importantes, como se muestra en la Fig. 11:

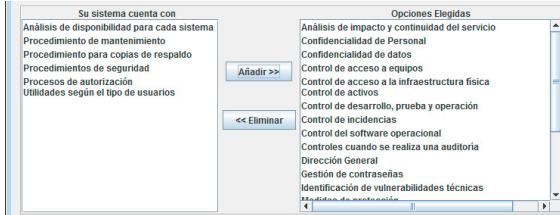


Fig. 11. Secciones del marco elegido. Fuente: [17].

Una vez que el usuario ha elegido las secciones que propone para su sistema de e-gobierno, lo manda a evaluar. Las acciones que lleva a cabo la aplicación internamente son: primero, con todas las variables, generar una fórmula que son los indicadores recolectados, y segundo, mediante el SAT, conocer si la seguridad es satisfacible con la propuesta del administrador.

La fórmula es generada de la siguiente manera: cada sección escogida por el administrador tiene muchos indicadores. Éstos son obtenidos de la base de datos y debido a que el administrador los escogió, son positivos. A éstos se los va guardando en un archivo de texto en formato CNF (Fig. 12).

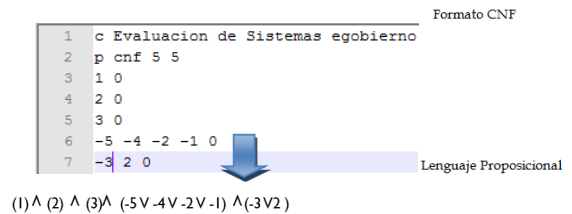


Fig. 12. Formato de archivo CNF y su equivalente en lenguaje proposicional. Fuente: [17].

Los indicadores que escogió el administrador suelen estar relacionadas con otros indicadores de otras secciones. El sistema busca estas relaciones, que básicamente son el conocimiento basado en las

normas internacionales. Proposicionalmente, son las cláusulas que se construyeron en la primera parte y son añadidas al archivo CNF. Las cláusulas que son importantes y que no las escogió el administrador, están con signo negativo. El formato CNF nos dice que cada cláusula tiene que terminar en 0.

Una vez que ya está el archivo listo, se crea un objeto de tipo *solver* en lenguaje Java, mandando a resolver nuestra fórmula con un *solver* de la librería SAT4j.

```
ISolversolver = SolverFactory.newDefault();
```

El *solver* va a buscar si según la fórmula dada el problema tiene solución, es decir, que a las variables proposicionales se les van a dar valores de verdad (cero o uno), y evaluar la fórmula para conocer si la conjunción de todas las cláusulas es igual a 1. Si la fórmula tiene solución, el *solver* nos entrega un arreglo con las variables y su valor, positivas o negativas. Las variables positivas son aquellas que aportan fundamentalmente al modelo propuesto por el administrador. A continuación, en la Fig. 13 se observa una salida por pantalla indicando que el problema ha sido satisficible y las variables que hacen posible que la fórmula sea verdadera.

```
La formula es Satisficible, y las variables que aportan fundamentalmente al modelo son:
Política de seguridad
Control de acceso a la infraestructura física
Control de acceso a equipos
Confidencialidad de datos
Monitorización de los sistemas
```

Fig. 13. Resultado de la ejecución del sistema.
Fuente: [17].

Por el contrario, si el *solver* nos da como resultado *insatisficible*, es porque el planteamiento de seguridad propuesto por el administrador no es viable.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se propuso un modelo para evaluar la seguridad en sistemas de e-gobierno basada en normas, guías y estándares internacionales mediante el problema de la satisficibilidad booleana.

Se construyeron cinco marcos de evaluación de seguridad: seguridad integral, computación en la nube, infraestructuras críticas, aplicaciones Web, y gobierno y gestión TI. Los marcos de evaluación son integrales y están divididos por secciones para fácil comprensión. Los marcos son producto de la investigación de estándares de países líderes en TIC, ISOS y marcos referenciales actuales punteros en el mercado.

Con base en los marcos construidos, se implementó un modelo de evaluación de seguridad utilizando SAT. Así, a partir de los indicadores propuestos por el administrador, se construye una

proposición de seguridad utilizando SAT que permite conocer si es válida la propuesta. Al utilizar esta aplicación, los administradores tienen conocimiento de qué indicadores aportan a la seguridad de sus sistemas.

La aplicación ayuda a la toma de decisiones de implementación de normas administrativas de seguridad. Permite plantear problemas de planificación cuyas soluciones pueden aplicarse a problemas concretos basados en factores influyentes como presupuesto, tiempo y recursos, entre otros.

REFERENCIAS

- [1] C. H. Baum, A. Di Maio y F. Caldwell, "What is e-Government? Gartner's definitions." Research Note (TU-11-6474), 2000.
- [2] G. Dhillon y G. Torkzadeh, "Value-focus assessment of information system security in organizations," *Inf. Syst. J.*, vol. 16, no. 3, pp. 293–314, Jul. 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2575.2006.00219.x
- [3] A. García Cervigon Hurtado y M. P. Alegre Ramos, *Seguridad Informática*, 1st ed. España: Paraninfo, 2011.
- [4] W. Al-Ahmad y R. Al-Kaabi, "An extended security framework for e-government," in 2008 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics, 2008, pp. 294–295. DOI: 10.1109/ISI.2008.4565091
- [5] International Organization for Standardization, "ISO 27000." [En línea]. Disponible en: <http://www.27000.org/>.
- [6] P. Mell y T. Grance, *The NIST Definition of Cloud Computing*. Estados Unidos: National Institute of Standards and Technology, 2011.
- [7] S. Paquette, P. T. Jaeger y S. C. Wilson, "Identifying the security risks associated with governmental use of cloud computing," *Gov. Inf. Q.*, vol. 27, no. 3, pp. 245–253, Jul. 2010. DOI: 10.1016/j.giq.2010.01.002.
- [8] International Organization for Standardization, "ISO 38500." [En línea]. Disponible en: <http://www.38500.org/>
- [9] International Organization for Standardization, "ISO/IEC 20000," 2011. [En línea]. Disponible en: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=51986.
- [10] "IT Governance - Governance, Risk Management and Compliance for Information Technology." [En línea]. Disponible en: <http://www.itgovernance.co.uk/>.
- [11] "Best Practice in IT Service Management, Project Management & Cyber." [En línea]. Disponible en: <https://www.axelos.com/>.
- [12] Unión Europea, "Council Directive 2008/114/EC," *Off. J. Eur. Union*, pp. 75–82, 2008.
- [13] "Homeland Security." [En línea]. Disponible en: <http://www.dhs.gov/>.
- [14] H. Mangassarian, A. Veneris y F. N. Najm, "Maximum Circuit Activity Estimation Using Pseudo-Boolean Satisfiability," *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.*, vol. 31, no. 2, pp. 271–284, Feb. 2012. DOI: 10.1109/TCAD.2011.2169259
- [15] L. De Moura y N. Björner, "Satisfiability module theories," *Commun. ACM*, vol. 54, no. 9, p. 69, Sep. 2011. DOI: 10.1145/1995376.1995394
- [16] "The Boolean Satisfaction and Optimization Library in Java." [En línea]. Disponible en: <http://www.sat4j.org/>.
- [17] M. M. Baquerizo Anastacio, "Modelo de Seguridad para Sistemas e-gobierno mediante satisficibilidad booleana," [Tesis de maestría], Dept. Arq. Comp. And Autom., Univ. Complutense de Madrid, Madrid, España, 2014.

Diseño de un Equipo de Pruebas Rápidas para Aceites Usados*

Design of a Used Oil Rapid Tests Kit

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.08>

Artículo de investigación científica – Fecha de recepción: agosto 19 de 2015 – Fecha de aceptación: diciembre 4 de 2015

Juan Carlos Delgado Sanabria

Magíster en Mantenimiento Industrial. Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia).
jucadesa@unipamplona.edu.co

Simón de Jesús Fygueroa Salgado

Doctor Ingeniero Industrial. Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia).
sjfygueroa@unipamplona.edu.co

Soren Einstein Sierra López

Ingeniero Mecánico. Universidad de Pamplona. Pamplona (Colombia).
soren.lopez@unipamplona.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

J. C. Delgado Sanabria, S. J Fygueroa Salgado y S. E. Sierra López “Diseño de un equipo de pruebas rápidas para aceites usados”, INGE CUC, vol. 12, no. 1, pp. 80-85, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.08>

Resumen-- El presente trabajo tiene como objetivo presentar el proceso de diseño y la construcción de un equipo de pruebas rápidas para el análisis de aceites usados de motores. El equipo que permite evaluar el estado de degradación y contaminación de una muestra de aceite usado mediante los ensayos de crepitación, mancha de aceite, viscosidad y contenido de partículas consta de cuatro aparatos: placa de calentamiento, generador de manchas, viscosímetro de caída de bolas y detector de partículas ferrosas. El aporte fundamental del trabajo lo constituyen los dispositivos y métodos ideados tanto para medir con exactitud el tiempo de caída de la esfera del viscosímetro de bolas como para la detección de partículas ferromagnéticas. El equipo ha producido resultados satisfactorios comparados con los obtenidos en pruebas de laboratorio.

Palabras claves-- Análisis de aceite; pruebas rápidas; viscosímetro; crepitación.

Abstract-- This paper aims to show the design and construction of a used oil rapid test kit. The kit allows evaluating used oil degradation and contamination by crepitation, oil blot, viscosity and particle content test. It consists of four units: oil blot maker, heating plate, falling ball viscometer and ferrous particle detector. The main contribution of the work are the devices and methods developed to accurately measure both the viscometer ball falling time and to detect wear ferromagnetic particles. The kit has produced satisfactory results compared to those obtained in laboratory tests.

Keywords-- Oil Analysis; Rapid Tests; Viscometer; Crackling.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado, “Desarrollo de un protocolo de mantenimiento con base en pruebas rápidas de aceite para motores de combustión interna automotrices”. Financiado por la Universidad de Pamplona. Fecha de inicio: agosto de 2011. Fecha de finalización: diciembre de 2012.

I. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento predictivo de motores mediante análisis de aceite utiliza técnicas de laboratorio que permiten obtener resultados con cierto nivel de precisión, y por lo tanto, diagnósticos más certeros sobre su estado técnico. Las técnicas empleadas según su finalidad son: técnicas para determinar la degradación del aceite, técnicas para cuantificar su contaminación y técnicas para identificar y cuantificar las partículas de desgaste presentes [1].

Un análisis de aceite en campo o a pie de máquina correctamente realizado proporciona información valiosa que se puede emplear para conocer rápidamente su estado de manera que se puedan tomar decisiones de mantenimiento inmediatas dentro del plan de lubricación y mantenimiento del equipo [2] [3].

En el presente trabajo se expone el diseño de los equipos y metodología de las pruebas rápidas seleccionadas. Teniendo en cuenta las recomendaciones dadas en [4] y [5] que proveen la mejor información del estado del lubricante, se escogieron los dispositivos y pruebas siguientes:

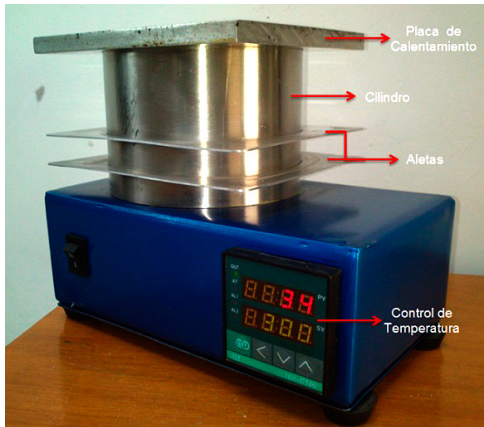


Fig. 1. Placa de calentamiento.
Fuente: Autores.

- Placa de calentamiento para estimar el contenido de agua de la muestra mediante el ensayo de crepitación.
- Generador de manchas de aceite y placa de calentamiento para secarlas y evaluar la contaminación por combustible y hollín.
- Viscosímetro de caída de bolas para determinar la viscosidad.
- Detector de partículas ferromagnéticas para caracterizar el nivel de desgaste de los mecanismos lubricados.

II. DISEÑO Y ENSAYOS

En esta sección se presenta el procedimiento de diseño de los elementos que componen el equipo

constituido por unidades independientes que permiten su movilización y uso simultáneo o individual y que no constituyen una unidad portátil integrada.

A. Placa de calentamiento

1) Diseño

La placa de calentamiento debe mantener una temperatura de 160 °C, que es la recomendada para realizar el ensayo de crepitación. Por su elevada capacidad calorífica ($C_p=0,949$ kJ/kg K) que asegura un calentamiento rápido, la placa es de aluminio. Puesto que la placa también se usará para secar la mancha de aceite, su tamaño deberá ser de 11 cm x 13 cm, que es la dimensión del papel de filtro que se usa para este ensayo, y su espesor 0,9 cm para que pueda alojar la resistencia de calentamiento, así, su volumen es $V=11 \times 13 \times 0,9 = 0,0001287$ m³.

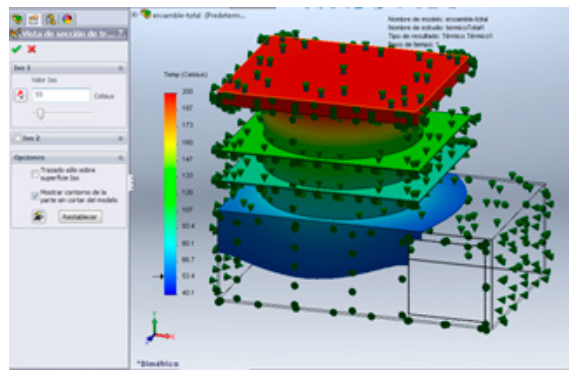


Fig. 2. Simulación de la placa de calentamiento.
Fuente: Autores.

Como la densidad del aluminio es 2700 kg/m³, la masa de la placa es $m = (2700 \text{ kg/m}^3)(0,0001287 \text{ m}^3) = 0,347$ kg. Para calentar la placa en 4 minutos ($\Delta t = 240$ s), desde 18 °C hasta 200 °C (incremento de temperatura $\Delta T= 182$ K), se debe disipar la potencia eléctrica que se muestra en (1):

$$\dot{Q} = mC_P \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{0,347 \times 0,949 \times 182}{240} = 250W \quad (1)$$

Como se observa en la Fig. 1 la placa está soportada por un cilindro hueco de acero inoxidable de 8,9 cm (3,5 pg.) de diámetro. El cilindro posee aletas rectangulares y se encuentra relleno de lana de vidrio con la finalidad de mantener la temperatura de su base a 50 °C (Tabla I) que es la recomendada por el fabricante para asegurar el correcto funcionamiento del controlador que se encuentra situado bajo el cilindro.

Para determinar el número de aletas, se simula en Solidworks el conjunto diseñado variando el co-

eficiente de transferencia de calor por convección en el rango de la convección natural (2 a 25 W/m² K) según [6]. Se logra una temperatura en la base de 50°C cuando h=25 W/m² K, valor obtenido con dos aletas (Fig. 2).

Puesto que en un sistema de calentamiento es de gran importancia controlar la temperatura, se emplea un control digital que permite visualizar la temperatura a la cual se encuentra la placa y, además, seleccionar temperaturas de acuerdo con el ensayo a realizar. Las características del control se presentan en la Tabla I.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DE TEMPERATURA.

Característica	Valor	
Accuracy	±0.2% of full scale	
Measuring ranges	-199.9 to 1800 degree Celsius	
Resolution	±1digit	
Supply voltage	85 to 264Vac, 50/60 Hz	
Input types	Thermocouple	K, J, E, S, N, T, B, R, WRe
	Resistive thermal detector	Cu50, Pt100
	Voltage	0 to 5V, 1 to 5V, 0 to 20mV, 0 to 75mV, 0 to 200mV
	Current	0 to 10mA, 4 to 20mA
Output options Current, Voltage, Pulse	Mechanical Relay, SSR,	
Power consumption	Less than 5 VA	
Control algorithms options	P, PI, PD, PID, or on/off	
Alarms	Upper limit alarm, lower limit alarm	
Working temperature	0 to 50 °C (32 to 122 °F)	
Working humidity	85% RH max, non-condensing	
External dimensions	48*48*100 (mm)	
Mounting dimensions	45 ⁺¹ *45 ⁺¹ (mm)	

Fuente: Microchip PIC16F87VA, Data sheet

2) Ensayo de crepitación

- Activar la placa de calentamiento y esperar unos 10 minutos hasta que alcance la temperatura recomendada para la prueba.

- Depositar sobre la placa una gota del aceite a probar tomada con una varilla de vidrio de 5 mm de diámetro después de agitar el recipiente que contiene la muestra.
- Observar con la lupa la evolución de la gota y con la regla medir su diámetro (Fig. 3).
- Determinar el contenido de humedad según las características (tamaño, burbujeo y ruido) presentadas por la gota.

3) Ensayo de la mancha

- Activar el controlador de temperatura y programar una temperatura de 160 °C.
- Depositar sobre el papel filtro una gota del aceite a probar tomada del recipiente de la muestra con una varilla de vidrio de 5 mm de diámetro.
- Colocar el papel filtro sobre el aro metálico del dispositivo de secado (Fig. 4).
- Tapar la mancha y dejar secar durante 10 minutos.
- Retirar cuidadosamente la tapa y analizar la mancha.

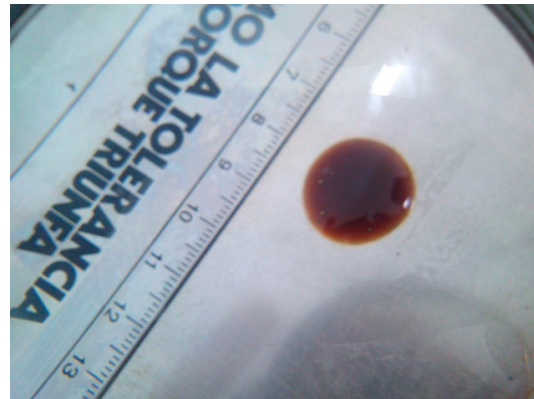


Fig. 3. Ensayo de crepitación.
Fuente: Autores.

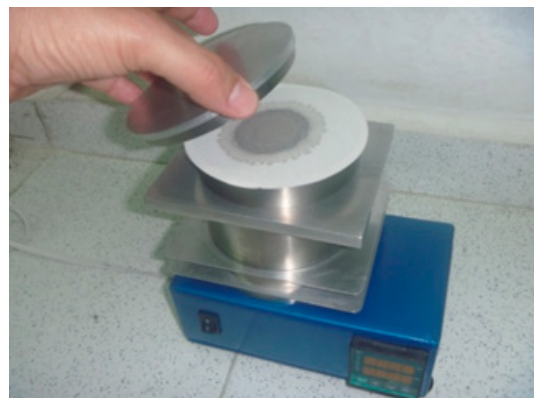


Fig. 4. Ensayo de la mancha.
Fuente: Autores

B. Viscosímetro

1) Diseño

El viscosímetro de caída de bolas es un instrumento que mide la viscosidad utilizando un tubo que contiene la sustancia a analizar, a través de la cual, una esfera experimenta una caída libre. El tiempo t que tarda la esfera en recorrer una distancia d (entre sensores) se emplea para determinar la viscosidad dinámica η mediante (2) [7]:

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho_1 - \rho_2)t}{9d} \quad (2)$$

Donde r es el radio de la esfera, ρ_1 es la densidad de la esfera, ρ_2 es la densidad del aceite (dato del fabricante), t el tiempo de caída y d la distancia entre sensores.

Puesto que t y d son las variables que determinan la prueba, se diseña un sistema de medición del tiempo de caída para una distancia conocida entre dos puntos. La determinación del momento en que la esfera inicia y finaliza su recorrido, dadas las condiciones del aceite, es muy difícil e inexacta mediante los sentidos, lo que justifica emplear dos sensores inductivos de posición con esta finalidad y así detectar con precisión el paso de la esfera metálica a través del aceite de prueba.

Para interactuar con el usuario se emplea una interfaz que permite visualizar el parámetro medido (tiempo) y el de estudio (viscosidad), y que además permite editar las variables relacionadas con el cálculo de la viscosidad dinámica.

El material para soportar el tubo no debe poseer características magnéticas debido a la naturaleza de los sensores de posición, por lo que para esta finalidad se usarán perfiles de aluminio.

En la Fig. 5 se muestra el estudio virtual del diseño del viscosímetro realizado con CAD y el equipo real que usa un tubo de 100 ml, que con la finalidad de poder realizar varios ensayos en un tiempo corto, debe ser intercambiable.

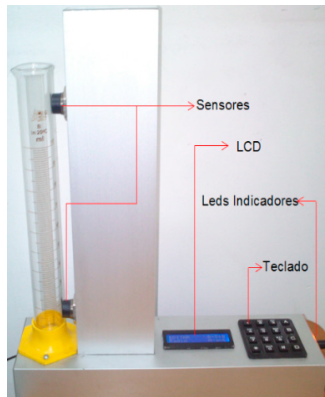


Fig. 5. Viscosímetro.
Fuente: Autores.

2) Sistema electrónico de medición

Las operaciones, tanto matemáticas del sistema electrónico como del control de usuario, se realizan con un microcontrolador 6F877A de Microchip, cuyas características se presentan en la Tabla II.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DEL MICROCONTROLADOR 16F877A

Característica	Valor
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2
Pila Hardware	-
Ejecución en 1 ciclo máquina	-

Fuente: Microchip PIC 16F877A, Data Sheet.

La detección de la posición de la esfera se hace con sensores inductivos Telemecanique 12-48 VDC, normalmente cerrados con un alcance de 8 mm. El pulso producido por los sensores antes de dirigirse al microcontrolador pasa por una etapa de acoplamiento mediante dos fototransistores PC817 tipo PNP, que reduce el voltaje de 12 V a 5 V.

El control de usuario se visualiza en una pantalla de cristal líquido (LCD) 16x2 que informa sobre lo que está ocurriendo en el sistema. El ingreso de datos se hace con un teclado matricial 4x4, que permite modificar los valores de las variables mediante las teclas numéricas y desplazarse por el menú del programa mediante las teclas: A, B, C, D, * y #. El estado del sistema se informa con tres diodos emisores de luz (LED), que corresponden a: encendido, modo operación y modo edición.

3) Funcionamiento

Al energizar el dispositivo aparece en la LCD un menú con dos opciones: 1 para empezar el conteo

y 2 para modo edición (Fig. 6). Si se elige la opción 1, el sistema queda listo para tomar el tiempo que tarda la esfera en pasar por los dos sensores (Fig. 7) y la LCD presenta un menú donde se pueden seleccionar las propiedades que se desean visualizar (Fig. 7): con la tecla # el tiempo y la viscosidad dinámica y con la tecla * la viscosidad cinemática. En la Fig. 8 se muestran los valores del tiempo y la viscosidad medidos. Se puede cancelar esta opción y regresar al menú principal oprimiendo la tecla D.

Al escoger la opción 2 en el menú principal, se accede al menú de edición que permite modificar las variables de la ecuación 2 (Fig. 9). Las variables se seleccionan con las teclas A y B (adelante, atrás) y se pueden modificar con las teclas numéricas y la tecla D entre un valor mínimo (0) y uno máximo (99,999). El diámetro de la esfera y la distancia de separación de los sensores se debe ingresar en milímetros y las densidades en kg/m³.

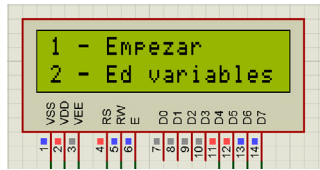


Fig. 6. Menú principal.
Fuente: Autores.

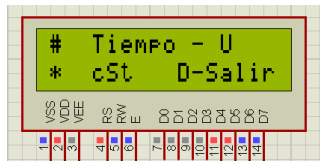


Fig. 7. Menú de selección de muestra de resultados.
Fuente: Autores.

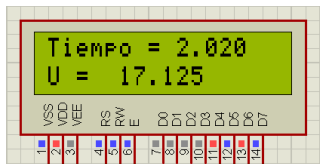


Fig. 8. Muestra de resultados de tiempo y viscosidad.
Fuente: Autores.

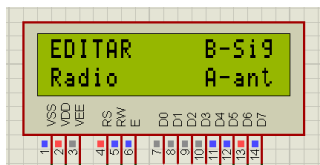


Fig. 9. Edición de variable.
Fuente: Autores.

El viscosímetro se calibra con los resultados obtenidos en una serie de ensayos efectuados a un

aceite comercial no usado cuya viscosidad es conocida según su denominación API.

C. Detector de partículas ferromagnéticas

1) Diseño

El equipo detector, como se muestra en la Fig. 10, está constituido por: bomba peristáltica, soporte del tubo de ensayo, soporte de la placa de vidrio y caja soporte del imán.

En el detector se usan dos variables para poner en evidencia la presencia de las partículas de desgaste: la velocidad del aceite y el campo magnético.

Para conseguir una velocidad constante y tener un flujo uniforme sobre la placa de vidrio inclinada se diseña y construye una bomba peristáltica que emplea una manguera flexible de silicón. Puesto que el volumen V que desplazan los rodillos de la bomba al dar una vuelta es como se muestra en (3)

$$V = \frac{\pi r_2^2}{2} \cdot \pi r_1 = \frac{\pi^2 r_1 r_2^2}{2} \quad [\text{m}^3/\text{rev}] \quad (3)$$

donde: r_1 = radio del rotor [m]

r_2 = radio de la manguera [m]

si el rotor de la bomba gira a n rev/min el caudal volumétrico \dot{V} descargado por (4):

$$\dot{V} = \frac{\pi^2 r_1 r_2^2 n}{2} \quad [\text{m}^3/\text{min}] \quad (4)$$

De esta forma, cuando el radio de la manguera es 1,5 mm, el caudal volumétrico descargado por la bomba es de 3 ml/min y puesto que gira a 6 rpm, se obtiene un radio del rotor igual a 2,4 cm. En la Fig. 10 se observa la bomba construida que emplea un motor sincrónico de 2 W de potencia.

Para los imanes del detector se toma el valor del campo magnético de un ferrógrafo que según sus creadores [8], varía entre 0.3 y 2 T, por esta razón se emplean imanes permanentes de neodimio de 1 T.

2) Calibración

La calibración del equipo consiste sólo en saber si el campo magnético de los imanes permanentes retiene las partículas dado que el objetivo de la prueba es únicamente determinar la presencia de partículas ferromagnéticas. Por este motivo se comprueba la presencia del campo mediante su visualización utilizando partículas ferrosas diluidas en aceite nuevo.

3) Ensayo de detección

- Mezclar en el tubo de ensayo la muestra de aceite usado y el solvente.
- Ubicar la placa de vidrio en el porta placa.

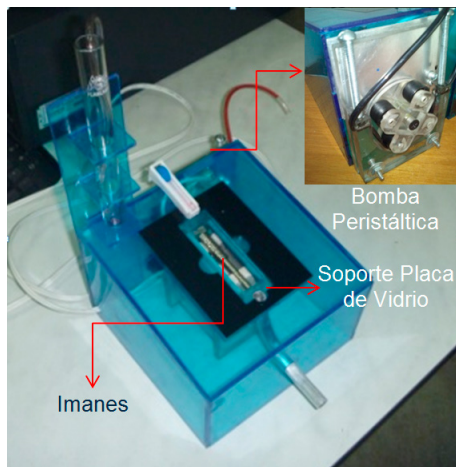


Fig. 10. Detector de partículas ferromagnéticas.
Fuente: Autores.

- Introducir la manguera dosificadora en el tubo de ensayo.
- Ubicar el recipiente en el drenado.
- Activar la bomba peristáltica.
- Determinar la presencia de partículas mediante visualización con lupa, microscopio o fotografía.

IV. RESULTADOS

Se diseñaron y construyeron los prototipos funcionales del equipo para la realización de las pruebas rápidas de crepitación, mancha de aceite, viscosidad y detección de partículas ferromagnéticas en aceites lubricantes usados.

V. CONCLUSIONES

El equipo diseñado y construido para la determinación *in situ* de las propiedades de aceites usados de motores de combustión interna es simple, compacto, de fácil realización y ha producido resultados satisfactorios comparados con los obtenidos en pruebas de laboratorio, los cuales se presentarán en un próximo artículo elaborado con este propósito.

REFERENCIAS

- [1] S. J. Fygueroa, *Mantenimiento de motores Diesel*. Mérida, Venezuela: Talleres Gráficos Universidad de Los Andes, 1997, pp. 41-77.
- [2] J. Denis, J. Briant y J.-C. Hipeaux, *Lubricant properties analysis & testing*. Francia: Editions Technip, 2000, pp. 412-448.
- [3] V. Macián, J. Barrachina y B. Tormos, *Mantenimiento de motores Diesel*. Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia, 2001, pp. 36-45.
- [4] S. J. Fygueroa, "Diagnóstico del desgaste y el estado de motores de encendido por compresión". [Tesis de doctorado], Univ. Polit. Valencia., Valencia, España, 1995.
- [5] B. T. Martínez, *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado*. España: Reverte, 2005, pp. 79-129.
- [6] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, 4th ed. México: McGraw-Hill, 2011.
- [7] B. E. Sánchez Hernandez, "Viscosímetro de bola," [Tesis de maestría], Dept. Elect. and Mekan. Eng., Inst. Polit. Nal, 2008, México, pp. 11-12.
- [8] J. B. Desjardins, W. W. Seifert, R. S. Wenstrup y V. C. Westcott, "Ferrographic apparatus" U.S 6303030 B1, 16 oct., 2001.

Revisión de la Seguridad en la Implementación de Servicios sobre IPv6*

Safety Review in Implementing Services Over IPv6

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.09>

Artículo de investigación científica - Fecha de recepción: 31 de agosto de 2015 - Fecha de aceptación: 24 de noviembre de 2015

Raúl Bareño Gutiérrez

Magíster en Telemática. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. CEET Bogotá (Colombia) y Universidad Manuela Beltrán. Bogotá (Colombia). raulbare@misena.edu.co

William Navarro Núñez

Especialista en Gerencia de Proyectos de Ingeniería en Telecomunicaciones. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Bogotá (Colombia). williamnm2@misena.edu.co

Sonia Cárdenas Urrea

Especialista en Gerencia de Proyectos de Ingeniería en Telecomunicaciones. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Bogotá (Colombia). secardenas9@misena.edu.co

Hugo Sarmiento Osorio

Magíster en Telemática. Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Bogotá (Colombia). hsarmiento@misena.edu.co

Nixon Duarte Acosta

Magíster en Ingeniería (Sistemas y Computación) Universidad Manuela Beltrán. Bogotá (Colombia). nixon.duarte@docentes.umb.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

R. Bareño Gutiérrez, W. Navarro Núñez, S. Cárdenas Urrea, H. Sarmiento Osorio y N. Duarte Acosta "Revisión de la seguridad en la implementación de servicios sobre IPv6", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 86-93, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.09>

Resumen-- En la actualidad los sistemas de transmisión e interconexión presentan varias vulnerabilidades, entre ellas, la facilidad de analizar tráfico que permite una tasa alta de ataques propios del protocolo IPv4, por ello se hace necesario que servicios como FTP, DHCP y SSH busquen la migración e implementación de redes IP bajo IPv6, la cual cuenta con características propias de la seguridad informática mediante el protocolo IPsec, sin importar el sistema operativo libre o propietario de los clientes finales. El presente artículo evalúa, mediante pruebas de configuración, la funcionalidad del estándar o protocolo IPv6 y sus características de seguridad en la implementación como opción de configuración en un escenario controlado para mitigar ataques en la autenticación, integridad y confidencialidad de la información, permitiendo determinar que los servicios analizados garantizan un mayor nivel de confiabilidad propio y nativo a través de IPsec por cualquier medio sobre el cual viajen los datos.

Palabras claves-- DHCP; FTP; SSH; IPv6; IPsec; protocolo; seguridad.

Abstract-- Actually, transmission and interconnection systems have several vulnerabilities including the facility to analyze traffic that allows a high rate of attacks own IPv4 protocol, therefore it is necessary for services such as FTP, DHCP and SSH seek Migration and Deployment to IPv6 networks. It has characteristics of computer security by IPSEC protocol, regardless of the free operating system or own end customers. This paper analyzes by testing the functionality of the standard settings or IPv6 protocol and its security features in the implementation and setting in a controlled environment to mitigate attacks on authentication, integrity and confidentiality of information, allowing to determine which scenario services analyzed guarantee a higher level of own native IPSEC reliability through regardless of the medium on which data travel.

Keywords-- DHCP; FTP; SSH; IPv6; IPsec; Protocol; Security.

* Artículo derivado del proyecto de investigación "Diseño e implementación de un Data Center Didáctico en el Centro de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones CEET que apoye la formación tecnológica en áreas relacionadas con las TIC". Financiado por SENNOVA. Fecha de inicio: enero 2015. Fecha de finalización: noviembre 2015.



I. INTRODUCCIÓN

Uno de los mejores avances que ha tenido el mundo ha sido Internet como herramienta de comunicación a nivel mundial. Su funcionamiento se implementa sobre un protocolo conocido como IP (protocolo de internet) con el cual se le asigna una dirección virtual a cada equipo para que éste pueda acceder a la red, pero en la actualidad se ha hecho escaso quedando pocas direcciones por distribuir en IPv4, además, tiene una alta tasa de vulnerabilidad y gran demanda de direcciones necesarias para cubrir todos y cada uno de los dispositivos que se quieren interconectar, por ello es necesario estandarizar y utilizar la nueva versión del protocolo IPv6 [1], que involucra un pool de direcciones mucho más amplio dadas sus mejores circunstancias de seguridad. Por esta razón es necesario que las empresas empiecen a implementar sus servicios usando tecnología basada en arquitectura con direccionamiento en IPv6 [2]-[3].

En el protocolo IPv4 cada dirección se compone de 32 bits, lo que permitía la existencia de 4300 millones de direcciones únicas. En comparación las direcciones IPv6 [4], las cuales se componen de 128 bits, permiten la existencia de aproximadamente 340 billones de direcciones IP únicas. En la actualidad, muchos servicios como DHCP [5], FTP [6] y SSH [7] requieren del nuevo estándar y que puedan ser ejecutados en este protocolo para su funcionamiento; razón válida para migrar los servicios y demás protocolos que se basaban en IPv4 a IPv6.

Durante esta investigación se revisa la forma cómo los servicios corporativos antes mencionados deben migrar hacia la implementación del protocolo IPV6 y se analizan algunas características de seguridad en autenticación, confidencialidad e integridad de los mismos. El primer protocolo o servicio que debe migrar es DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) [8]-[9] o protocolo dinámico de configuración de *host*, el cual se encarga de brindar direcciones IP a los diferentes equipos conectados a la red de manera dinámica, necesarios para que un sistema pueda comunicarse efectivamente. Su objetivo principal es simplificar la administración de la red [10]. El servicio DHCP para IPv6 está definido en el RFC 3315; trabaja sobre UDP y utiliza la arquitectura cliente-servidor, y además utiliza *multicast* para los mensajes [11]-[12].

El funcionamiento de DHCPv6, empieza en el momento en el que el cliente escucha en el puerto 546 y los transmisores escuchan en el puerto 547. Éstos se comunican por medio de una dirección local y direcciones *multicast* (Fig. 1) [11]-[13].



Fig. 1. DHCPv6.
Fuente: autor

El segundo servicio que busca la implementación hacia IPV6 es el protocolo Secure Shell (SSH), desarrollado por Tatu Ylonen [14] en la Universidad Tecnológica de Helsinki en Finlandia, y OpenSSH [7]-[15] nace del proyecto de un sistema operativo orientado a la seguridad que permite realizar la comunicación y transferencia de información en forma cifrada, proporcionando una fuerte autenticación sobre un medio inseguro. Permite la ejecución de procesos, el inicio de sesiones a servidores, la ejecución de comandos y la copia de archivos remotamente, brindando comunicaciones cifradas entre el cliente y el servidor, evitando así, el robo de información y manteniendo la integridad de los datos que viajan a través de la red [16]. como se explica en el RFC de Secure Shell [17]-[18]. Asimismo, proporciona una exhaustiva autenticación y comunicaciones seguras en redes no seguras. Adicionalmente, provee seguridad para conexiones de servicios X Windows y envío seguro de conexiones arbitrarias TCP. En la autenticación puede utilizar algoritmo de cifrado como RSA o DSA [15], y para el envío de datos a través de la red usa 3DES, IDEA y Blowfish [19]-[20].

El tercer servicio, igual de importante, es el protocolo de transferencia de archivos FTP, muy usado en Internet hoy día [21]. Su objetivo es transmitir archivos exitosamente entre máquinas en una red sin que el usuario tenga que iniciar una sesión en el *host* remoto o que requiera tener conocimientos sobre cómo utilizar el sistema remoto. Su funcionamiento consiste en que un equipo o *host* se pueda conectar a un servidor de archivos para descargar, modificar, consultar, eliminar y enviar documentos, independiente del sistema operativo del cliente. Además, permite a los usuarios acceder a archivos en sistemas remotos usando un conjunto de comandos simples, y se describe en el RFC 959 [22]-[23]. Para acceder a los archivos remotos, el usuario debe identificarse al servidor; en este punto, el servidor es responsable de autenticar al cliente antes de permitir la transferencia de archivos.

Desde el punto de vista de un usuario FTP, el enlace está orientado a conexión y es necesario que ambos *hosts* estén activos y ejecutando TCP/IP [24] para establecer una transferencia de archivos muy usado en redes corporativas [25]-[26]. Un problema básico de este servicio es la seguridad, ya que toda la transferencia de archivos con el servidor se realiza en texto plano sin ningún tipo de cifrado, dando así la opción de que un atacante acceda al servicio de archivos, los modifique o los lea sin ningún inconveniente [27].

Finalmente, dentro de los alcances del trabajo se revisa la utilidad del protocolo de seguridad nativo IPsec [28], [29], [30] en IPV6 de *host* a *host* en lugar de que sea de punto a punto, como se hace en IPV4. El encabezado AH [9]-[30] se utiliza para garantizar la integridad y ataques de no repudio; y ESP [30] para la confidencialidad, integridad y anti-replay. Uno de los problemas potenciales de IPsec en IPV6 es que no se puede garantizar su implementación como mecanismo en cualquier escenario. Es conveniente que se

configure de forma manual y se adicione al servidor DHCPv6, que permite tener un control mayor sobre la asignación de direcciones y suministrar otra información, como por ejemplo, dirección del servidor FTP o DNS [13]. Los algoritmos utilizados en la seguridad son MD-5 y SHA-1 [30] definido en RFC 1827[12] y 2406[13]. Se diseñó para proveer confidencialidad, autenticación del origen de datos, integridad sin conexión y servicio contra reenvío de paquetes. En cuanto a los servicios bajo IPV6 [24], éstos se van estandarizando y más dispositivos se actualizan para trabajar con este protocolo; así, nuevas implementaciones de seguridad en la infraestructura serán necesarias.

Esta investigación está dividida en varias secciones. Primero se encuentran los materiales y métodos utilizados durante el estudio; después se establece la metodología aplicada en el análisis y las herramientas utilizadas. Asimismo, se presentan los resultados de cada uno de los servicios y protocolos utilizados. Otro aspecto es la discusión actual en cuanto a la implementación del protocolo IPV6. Finalmente, están las conclusiones y motivaciones de seguridad de los diferentes servicios implementados.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los protocolos DHCP, FTP y SSH son servicios de la capa de aplicación. En esta sección se describen las consideraciones y detalles de su implementación y funcionamiento bajo el protocolo IPV6 en diferentes sistemas operativos (Tabla I) y en una red local utilizando diferentes computadores y sistemas operativos, además de la herramienta Wireshark para la captura de tráfico.

La instalación de cada uno de los servicios se efectuó bajo un escenario controlado en laboratorio una vez configurado el servidor con todos los servicios analizados como DHCP, FTP y SSH corriendo sobre el protocolo IPV6 y los clientes bajo el sistema operativo Linux y Windows (Tabla I).

TABLA I. EQUIPO Y SOFTWARE UTILIZADO

Sistema operativo del servidor	Windows Server 2008-2012 R2 Linux Debian 7.7 y Ubuntu
Sistema operativo del cliente	Windows 7 con FileZilla 3.10.3. y Ubuntu Gnome 2.26.0
Herramienta de captura de tráfico	Wireshark 1.12.5
PC1	Lenovo G40 70
PC2	Toshiba ultrabook S400u
Servidor	Sure everon Tp5504 con 7 discos duros de un 1 tera por slot y 48 gigas en RAM
Switch	Cisco catalist 2960-24 puertos Fasthernet
Router	Cisco 2901 Enterprise puertos gigabit Ethernet

Fuente: Autor.

La Fig. 2 muestra el escenario sobre el cual se hicieron las respectivas pruebas de implementación y análisis de cada uno de los servicios funcionando bajo IPV6 y teniendo en cuenta el pool de direcciones asignadas bajo DHCPv6 como ámbito de pruebas.



Fig. 2. Configuración de DHCPv6.
Fuente: Autor

Para los demás protocolos FTP y SSH se utilizó un escenario muy similar.

III. METODOLOGÍA

Durante este análisis se contrastaron algunas políticas de seguridad del protocolo IPV6 en cuanto a autenticación, confidencialidad e integridad usando IPsec como protocolo nativo. Esto se hizo para servicios corporativos como DHCP, FTP y SSH. El procedimiento se efectuó así: se configuró el servidor con el sistema operativo Windows Server 2008 y Server 2012 R2, además, con Linux Debian versión 7.7 y Ubuntu Server, así como con dos máquinas físicas con Windows 7 y Ubuntu para escritorio como clientes. Para el servicio DHCPv6 se configuró el Active Directory y el DNS. Se creó el ámbito para IPV6 el cual se definió a partir del prefijo 2001:db8::1 (Fig. 3), también se asignaron direcciones reservadas o direcciones excluidas y otras opciones como el tiempo de concesión de una dirección asignada y su tiempo de expiración.

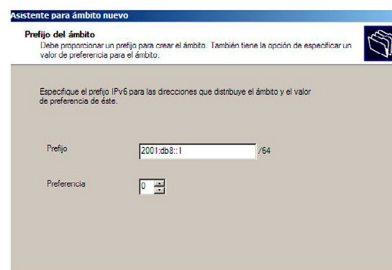


Fig. 3. Especificación del prefijo de inicio de direcciones IPv6.
Fuente: Autor

Además, se hizo la conexión de red para todas las máquinas y se realizó la verificación de asignación de direcciones de IPV4 e IPV6 dinámicas y locales en cada una (Fig. 4).

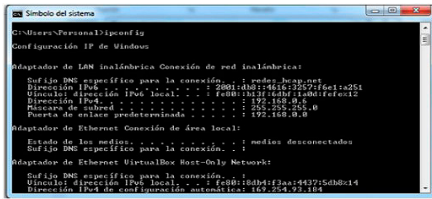


Fig. 4. Verificación de IPv4 e Ipv6 en el cliente.
Fuente: Autor.

Para la configuración e implementación del servicio SSH bajo IPv6 en Windows Server 2008 y 2012 R2, así como en Linux Ubuntu y Debian 7.7, se consideran algunas condiciones previas a la conexión, como verificar que las reglas de entrada y salida TCP del firewall de los servidores Windows estén activas, además, se configura una regla de entrada y de salida del protocolo SSH a través del puerto 22 con una configuración estática de las respectivas direcciones IPv6 para efectuar correctamente la captura de los paquetes. Se implementó BitVise SSH Server para hacer uso de SSH sobre IPv6 (Fig. 5), y sobre el cliente se configuró Secure CRT para realizar la conexión respectiva. También se validaron ambos extremos de la conexión con la contraseña de administrador del servidor SSHv6.

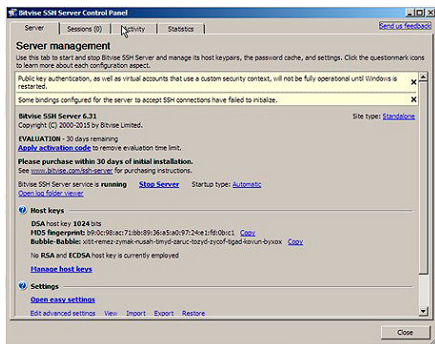


Fig. 5. Configuración de SSH Server para IPv6.
Fuente: Autor.

Se pudo destacar y revisar que dentro de los registros de auditoría el servidor SSHv6 (Fig. 6) recibió satisfactoriamente la conexión, y en el lado del cliente, se permitió su acceso remoto.

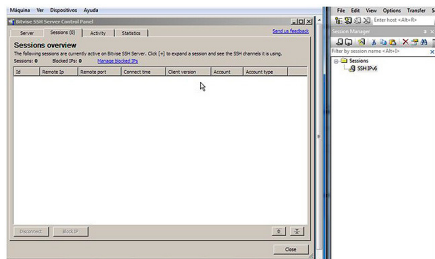


Fig. 6. Acceso al Server SSH bajo IPv6.
Fuente: Autor.

Para la configuración del servicio FTP sobre IPv6 se agregó primero el rol de IIS (Internet Information Service) y se pudo activar el servicio FTP; como segunda instancia se creó un sitio al cual se asignó una dirección IP pública para que sea accesible por medio de Internet. Además, se crearon carpetas personalizadas para cada usuario en donde se almacenan todos y cada uno de sus archivos. Se agrega la dirección IPv6 [2001:db8::104] incluyendo los caracteres de paréntesis cuadrados y se especifica el puerto 21 (Fig. 7).

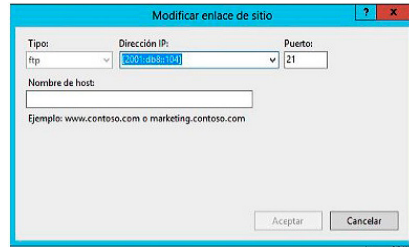


Fig. 7. Direccionamiento IPv6 para FTP.
Fuente: Autor.

Para evitar problemas de seguridad se implementa un certificado SSL durante el envío de los datos para que éstos estén cifrados e ilegibles para los atacantes. La seguridad de SSL confirma que la información viaje cifrada y sea totalmente indescifrable (Fig. 8).

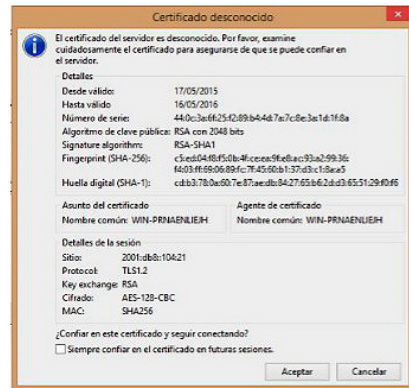


Fig. 8. Certificado SSL para cliente FTP.
Fuente: Autor.

Así, el servidor SSHv6 (Fig. 6) ha recibido satisfactoriamente la conexión del cliente, lo que le permite su acceso remoto.

IV. RESULTADOS

La implementación, configuración de los servicios FTP, DHCP y SSH bajo IPv6, junto con los parámetros de seguridad en cuanto a autenticación, confidencialidad e integridad en cada uno de los sistemas operativos analizados se pueden resumir en la Tabla II.

TABLA II. REVISIÓN DE LA SEGURIDAD EN LOS SERVICIOS IPV6.

Servicios	Server Windows 2008			Server Windows 2012 R2			Server Linux Debian			Server Ubuntu		
	DHCP	FTP	SSH	DHCP	FTP	SSH	DHCP	FTP	SSH	DHCP	FTP	SSH
Soporta IPv6	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Parámetros de configuración (nivel de dificultad)	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Alta	Alta	Media	Media	Media
Soporta IPsec	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
VPN	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Autenticación clave compartida y certificado digital	RSA/DSA	RSA/DSA	RSA/DSA	RSA/DSA	RSA/DSA	RSA/DSA	RSA/DSA/PSK	RSA/DSA/PSK	RSA/DSA/PSK	RSA/DSA/PSK	RSA/DSA/PSK	RSA/DSA/PSK
Confidencialidad entre 56 y 128 bits	DES	DES	3DES	3DES	3DES	3DES	3DES/AES	3DES/AES	3DES/AES	3DES/AES	3DES/AES	3DES/AES
Integridad	MD5	MD5	MD5	MD5	MD5	MD5	MD5/SHA	MD5/SHA	MD5/SHA	MD5/SHA	MD5/SHA	MD5/SHA

Fuente: Autor.

En la tabla se identifican las mejores condiciones de implementación de DHCP, FTP y SSH bajo IPv6 sobre servidores Linux con algunas ventajas claras frente a Windows en cuanto a la autenticación entre las máquinas físicas, integridad y confidencialidad.

Otro aspecto a destacar es visualizar cada uno de los protocolos implementados como DHCPv6 (Fig. 9). Se refleja aquí cómo el servidor con dirección 2001:db8::1 entrega la dirección IPv6 asignada dinámicamente al cliente, en este caso 2001:db8::4616:3257:f6e1:a251.

```
Sufijo DNS específico para la conexión. . : redes_hcap.net
Dirección IPv6 . . . . . : 2001:db8::4616:3257:f6e1:a251
Vínculo: dirección IPv6 local. . . . . : fe80:b13f:6dbf:1a0d:fefex12
Dirección IPv4. . . . . : 192.168.0.6
Máscara de subred . . . . . : 255.255.255.0
Puerta de enlace predeterminada . . . . : 192.168.0.0
```

Fig. 9. Entrega de una IPv6 al cliente por DHCPv6. Fuente: Autor.

Para el acceso remoto al servidor usando el servicio SSH mediante direcciones IPv6 se configuró el siguiente escenario controlado (Fig. 10):

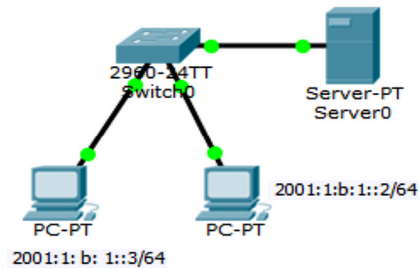


Fig. 10. Escenario para SSH bajo IPv6. Fuente: Autor.

Se utilizó otro tipo de direccionamiento en el servidor 2001:1:b:1::3 y un cliente 2001:1:b:1::2 (Fig. 11).

Se nota durante los primeros paquetes el intercambio de claves que realiza SSH al establecer la conexión entre los extremos; en el primer paquete se revisa el cifrado que no permite ver la información. Adicionalmente, TCP hace uso del puerto 22 y su mensaje está cifrado entre las partes (Fig. 12).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
11	12.295940	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	138	Client: Encrypted packet (len=64)
12	12.360920	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
13	12.5137510	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	138	Client: Encrypted packet (len=64)
14	12.5325880	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
15	12.6416640	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	138	Client: Encrypted packet (len=64)
16	12.6740360	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
17	12.7433900	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	138	Client: Encrypted packet (len=64)
18	12.7669690	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
22	14.9478340	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	138	Client: Encrypted packet (len=64)
23	14.9713800	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	330	Server: Encrypted packet (len=256)
24	14.9721320	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
26	14.9722630	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	122	Client: Encrypted packet (len=48)
27	14.9723000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	122	Client: Encrypted packet (len=48)
29	14.9731440	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
32	14.9747050	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
39	17.7931820	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSHv2	131	Server: Protocol [SSH-2.0-5.34-flowSsh: Bitvise SSH Server (winSSHD) 6.31]
40	17.8127600	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSHv2	115	Client: Protocol [SSH-2.0-secureCRT_7.3.3 (x64 build 779)]

Fig. 11. Acceso remoto con SSHv2 bajo IPv6. Fuente: Autor.

```

Transmission Control Protocol, Src Port: 58094 (58094), Dest Port: 22 (22), Seq: 1, Ack: 1, Len: 64
Source Port: 58094 (58094)
Destination Port: 22 (22)
[Stream index: 1]
[TCP segment Len: 64]
Sequence number: 1 (relative sequence number)
[Next sequence number: 65 (relative sequence number)]
Acknowledgment number: 1 (relative ack number)
Header Length: 20 bytes
... 0000 0001 1000 = Flags: 0x018 (PSH, ACK)
Window size value: 4256
[Calculated window size: 4256]
[Window size scaling factor: -1 (unknown)]
Checksum: 0x682a (validation disabled)
Urgent pointer: 0
[Seq/ACK analysis]
SSH Protocol
Packet Length (encrypted): 656 bytes
Encrypted Packet: 28af67986f4f92f689366593820f773c1aba03e9618...
    
```

Fig. 12. Mensaje encriptado entre extremos con IPv6. Fuente: Autor.

Sobresale el intercambio de llaves sin contacto previo de Diffie-Hellman [28]-[31] para realizar el intercambio durante la sesión con un paquete de 84 bytes con cifrado AES-256 [29]-[31] sin compresión (Fig. 13). Adicionalmente, el servidor es el que proporciona la respuesta al intercambio de llaves usando la versión de SSH v1, pero rápidamente, antes del primer intercambio de llaves, se realiza el cambio a SSH v2.

```

SSH Protocol
SSH Version 2 (Encryption: aes256-ctr mac:hmac-sha2-256 compression:none)
Packet Length: 64
padding Length: 9
Key Exchange
Message Code: Diffie-Hellman Key Exchange Reply (31)
KEK DH Host key Length: 433
KEK DH Host key: 000000073736826647373000000809859c5dc178bcbb...
Multi Precision Integer Length: 133
DH server F: 04000dbdbf03bc6d4053eb746902c9f8f0189038181d...
KEK DH H signature Length: 55
KEK DH H signature: 000000073736826647373000002889f6387bf4a0d7652...
Payload: -MSSING-
padding string: 0673354553e4d695
SSH Version 2 (Encryption: aes256-ctr mac:hmac-sha2-256 compression:none)
Packet Length: 82
padding Length: 82
Key Exchange
Message Code: New Keys (21)
Payload: -MSSING-
padding string: fe5173f4f37ee113777cfd33f1a099430f10d00e...
    
```

Fig. 13. Intercambio de claves con SSH para IPv6. Fuente: Autor.

No.	Time	Destination	Source	Protocol	Length	Info
15	12.641664000	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::3	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=64)
16	12.674036000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
17	12.743390000	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	138	Client: Encrypted packet (len=64)
18	12.766990000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=256)
22	14.947834000	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	138	Client: Encrypted packet (len=64)
23	14.973380000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	330	Server: Encrypted packet (len=256)
24	14.972120000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
26	14.972263000	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	222	Client: Encrypted packet (len=48)
27	14.972300000	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSH	122	Client: Encrypted packet (len=48)
29	14.973144000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
32	14.974075000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSH	202	Server: Encrypted packet (len=128)
39	17.793182000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSMv2	131	Server: Protocol (SSH-2.0-5.34 FlowSh: Bitwise SSH Server (winSSHD) 6.31)
40	17.832760000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSMv2	115	Client: Protocol (SSH-2.0-secureCRT_7.3.3 (x84 build 779))
41	17.833403000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSMv2	674	Server: Key Exchange Init
42	17.833655000	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSMv2	842	Client: Key Exchange Init
43	17.835223000	2001:1:b:1::3	2001:1:b:1::2	SSMv2	226	Client: Diffie-Hellman Key Exchange Init
45	18.020501000	2001:1:b:1::2	2001:1:b:1::3	SSMv2	810	Server: Diffie-Hellman Key Exchange Reply, New Keys

Fig. 14. Intercambio con SSHv2 en IPv6. Fuente: Autor

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
25	10.410692000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	1074	Response: 220 Microsoft FTP Service
26	10.410823000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	117	Response: 220 Favor ingrese su usuario y contraseña:361a
28	10.411375000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	84	Request: AUTH TLS
29	10.411620000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	123	Response: 234 AUTH command ok. Expecting TLS Negotiation.
30	10.411965000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	304	Request: \026\003\001\000\017\036\020\024\2738\247\3306\04\0066\2106\2116f\2016\034\353\32\351\
31	10.412455000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	916	Response: \026\003\003\003e\002\000\000\003\003\01b\213\230\237\004\203\217p\4\235\2041\006\215\3\
32	10.413672000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	341	Request: \026\003\003\001\006\020\000\001\002\001\0005\2547\274\006\1275\235\277\367\2008\031\32004\
33	10.413737000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	80	Request: \024\003\003\000\001\001
34	10.413794000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	159	Request: \027\003\003\000e\022\3121\215\243\021\230\327\331\4721\207\032\247\203\211\352\1e\222\
36	10.418377000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	165	Response: \024\003\003\000\001\001\026\003\003\000\305\005\345\027m\213\022\257\376\004\1\307\353\
37	10.430833000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	159	Request: \027\003\003\000p\234\0343\347\310\271\227u\240p\363\343\245\225\3211\251\370\356\338\1\367\223\363\3\
38	10.431356000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	159	Response: \027\003\003\000p\360\222\0p\333\005\333\343\245\225\3211\251\370\356\338\1\367\223\363\3\
40	10.432870000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	175	Response: \027\003\003\000\4\224\373\361\020\223\347\324\1\200\350\214\4w\300\250\243\235m\255h\
41	10.433474000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	159	Response: \027\003\003\000p\345\216\324\246\017\035\253\001\034\206\021u\202\031\346\3\245\245\222\2\
43	10.433732000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	143	Request: \027\003\003\000b\177\204\210\025\305m\325\247\0008\330\0\216\32\351u\005\033\372\374\02\
44	10.434081000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	159	Response: \027\003\003\000m\306\314\038\345\366\204\321\3356\000\3\2118\260\3\275h\226\3206\0\32\
45	10.434278000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	143	Request: \027\003\003\000b\332k\301\361\217\214\212\0\277\035e\360\026\357r\302\3135\377\215\3\
46	10.434596000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	159	Response: \027\003\003\000p\0267f\304\305\027mke\262\210\023\372\036c2\262rda>\
47	10.436684000	2001:db8::102	2001:db8::104	FTP	143	Request: \027\003\003\000b\256\026\237a\225\230\203\022\301\366\370x\305\271q\2257\344\207e\2\
48	10.437592000	2001:db8::104	2001:db8::102	FTP	175	Response: \027\003\003\000\364\026\223\345\

Fig. 16. Certificado SSL entre el cliente y server IPv6. Fuente: Autor.

La conexión SSH se activa y puede ser terminada por parte tanto del cliente como del servidor (Fig. 14).

En cuanto a la implementación del servicio FTP bajo IPv6, se configuró la red LAN (Fig. 15); en el servidor se configuran usuarios y perfiles para el acceso con la opción de modificar e eliminar archivos de manera segura usando la validación de los puntos mediante IPsec.

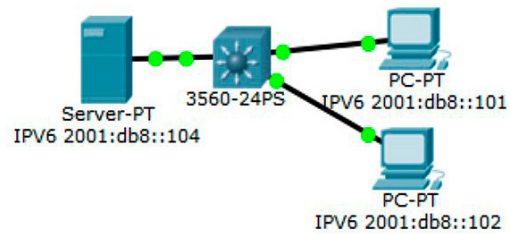


Fig. 15. Escenario para FTP bajo IPv6. Fuente: Autor.

Se adiciona un certificado de seguridad SSL para fortalecer el envío cifrado y que sea oculto para atacantes, esto es obligatorio. También se activó la opción para usar cifrado de 128 bits [13] en estas conexiones. Una vez se activa la sesión FTP bajo IPv6, no permite la lectura del certificado de seguridad. Se pone en evidencia entonces que la información viaja cifrada y totalmente ilegible (Fig. 16).

V. DISCUSIÓN

La falta de despliegue del protocolo IPv6 en América Latina y el Caribe se ha demorado por la falta de capacitación del personal encargado en las organizaciones y empresas de Internet de la región, según considera el experto Hans Reyes, coordinador de la Red Nacional Académica de México.

En la actualidad es una realidad que se debe apuntar hacia la implementación de IPv6 como una herramienta clave para lograr un mayor desempeño de las aplicaciones de Internet como DHCP, FTP y SSH entre otras. Según Google en sus estadísticas a 2014, el crecimiento y uso de este protocolo es considerable (Fig. 17).



Fig. 17. Google uso de direcciones y servicios IPv6. Fuente: Autor

El mayor problema que se vislumbra es la falta de personal idóneo para su implementación. Se debe resaltar su importancia y valor para redes en producción y así tener un mayor desempeño en las aplicaciones que ya utilizan el estándar IPv6.

Otro problema es el poco contenido existente bajo IPv6. Proveedores como Google, Facebook, Microsoft y Cisco ya lo soportan en sus redes, sin embargo, se debe sensibilizar a los ISP, gobiernos, empresas y universidades para hacer migración y masificarlo, pues no es sólo un tema de moda, es parte del todo de Internet. Según LACNIC, organismo encargado de la asignación de direcciones IPV6 para América Latina, se refleja el amplio rango de asignaciones IPv6 para la región (Fig.18).

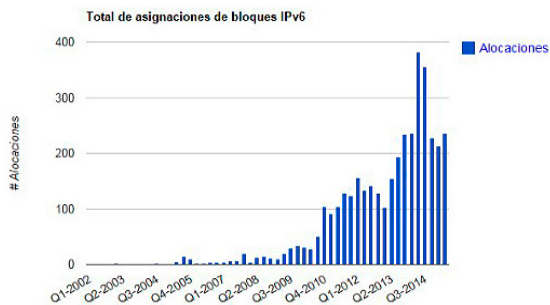


Fig. 18. Rango de IPv6 en América Latina. Fuente: Autor.

Existen diferentes estudios realizados en la implementación de servicios empresariales sobre el protocolo IPv6. Se destaca el análisis de la Universidad Carlos III de Madrid, sobre todo en el campo de la seguridad, concluyendo que pronto existirán ataques exclusivos para IPv6 y para mitigar esto resaltan la importancia del uso de IPsec, que en la actualidad no es muy utilizado [13]. Asimismo, la Universidad de Oriente en Venezuela intentó implementar dentro de su red el protocolo IPV6, dando como conclusión que este tipo de red presenta limitaciones de hardware y software, las cuales no fueron solucionadas por la propia universidad, afectando así la implementación de este protocolo en su red [31].

Los servicios analizados, como el DHCPv6 [31], son una herramienta importante en la administración de redes, al igual que SSH y FTP. Para poder utilizarlos se necesita el conocimiento de sistemas operativos libres como Ubuntu o Debian y propietarios como Windows Server 2008 o 2012 R2, utilizados durante esta investigación, ya que su implementación bajo IPv6 no es un tema exclusivamente de redes, también tiene impacto a nivel de servidores, aplicaciones y dispositivos de seguridad.

VI. CONCLUSIONES

Es evidente el gran reto durante el diseño e implementación de servicios bajo el protocolo IPv6 para las áreas de tecnología en sectores productivos y académicos, así como para los usuarios de Internet en general. La migración hacia este estándar permite minimizar riesgos de seguridad presentes en su antecesor, el IPv4. Este artículo revisa los mecanismos de configuración de los protocolos DHCP, FTP y SSH, además de su seguridad en los principales sistemas operativos actuales que tienen activado IPv6 por defecto pero no las características de IPsec que le aportan confidencialidad, autenticación e integridad, tanto a los datos como a los usuarios de forma transparente, con la posibilidad de agregar las tradicionales formas de proteger la información que lo hace más robusto y confiable. Por esta razón, es fundamental formar a los administradores de red en el protocolo IPv6 para la aplicación de políticas de seguridad e implementación de nuevos servicios y formas de comunicarse, conscientes de los riesgos que conlleva su utilización y conociendo los mecanismos de seguridad que deben aplicar.

El principal aporte de este trabajo de investigación es el hecho de proveer una solución real y factible para la implementación de los servicios DHCP, SSH y FTP en IPv6; los resultados obtenidos durante las pruebas demuestran que la solución desarrollada es sencilla y funcional e incentiva el uso de estos servicios en un entorno local. Además, presenta una contribución para la comunidad de administradores de redes puesto que se presenta una alternativa sencilla y segura en la asignación de direcciones para el

acceso remoto con este nuevo estándar (siendo altamente escalable), así como para el intercambio de archivos, teniendo como premisa que el proceso será un poco más lento.

Finalmente, la implementación y revisión de la seguridad de los servicios analizados en entornos integrados bajo IPv6 será un proceso continuo en el que diariamente aparecen nuevas vulnerabilidades y riesgos de seguridad. Por ello es importante mantener una buena formación en los protocolos utilizados porque hacia el futuro existirán nuevos riesgos que irán apareciendo a medida que se incrementa la utilización del protocolo IPv6. Análisis y estudios como los aquí planteados permiten medidas de protección a las nuevas y versátiles infraestructuras de telecomunicaciones.

REFERENCIAS

- [1] R. Bareño Gutiérrez, *Elaboración de un estado de arte sobre el protocolo IPV6; y su implementación sobre protocolos de enrutamiento dinámico como RIPNG, EIGRP y OSPF basado sobre la plataforma de equipos Cisco*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2011.
- [2] W. Lee, S. S. H. Park y C. Lim, "Server authentication for blocking unapproved WOW access," in 2014 International Conference on Big Data and Smart Computing (BIGCOMP), 2014, pp. 155–159. DOI: 10.1109/BIGCOMP.2014.6741427
- [3] T. Chown, "IPv6 Campus Transition Experiences," in 2005 Symposium on Applications and the Internet Workshops (SAINT 2005 Workshops), 2005, pp. 46–49. DOI: 10.1109/SAINTW.2005.1619975
- [4] I. Beijnum, "An FTP Application Layer Gateway (ALG) for IPv6-to-IPv4 Translation," 2011. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc6384>
- [5] J. C. Becerra Cobos, J. R. Simbaqueva Buitrago y A. F. Valenzuela Suárez, "Diseño e implementación de redes IPv6 en MIPYMES: caso laboratorio de informática," Esc. Colomb. Ing. Julio Garavito, pp. 1–8, 2013.
- [6] T. Sanguankotchakorn y M. Somrobru, "Performance Evaluation of IPv6/IPv4 Deployment over Dedicated Data Links," in 2005 5th International Conference on Information Communications & Signal Processing, 2005, pp. 244–248. DOI: 10.1109/ICICS.2005.1689043
- [7] F. M. Ángel y J. F. C. Domínguez, "Implementación de servicios IPv6 en la Universidad Autónoma de Guerrero, México," *Vínculos*, vol. 10, no. 2, pp. 393–400, jul. 2014.
- [8] B. Stewart, *CCNP BSCI Official Exam Certification Guide*, 4th ed. Cisco Press, 2007.
- [9] V. A. Kalusivalingam, "Network Information Service (NIS) Configuration Options for Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)," 2004.
- [10] A. Carrera Buenaño, "Análisis de las Técnicas de Convivencia entre IPV4 e IPV6 y su Implementación en los Servicios: Web, Mail, FTP, Proxy, DNS y DHCP de la Intranet de la ESPOCH," Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2009.
- [11] J. Bound, "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6)," 2003.
- [12] T. Chown, S. Venaas y C. Strauf, "Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP): IPv4 and IPv6 Dual-Stack Issues," 2006.
- [13] R. A. Reina Valladares, G. A. Peláez Brioso y L. A. Gurrís Aragón, "Metodología de Implementación de Ipv6 en La Red de La Universidad de Oriente," *Ing. Electrónica, Automática y Común.*, vol. 29, no. 1, pp. 36–43, jul. 2010. DOI: 10.1234/rielac.v29i1.15
- [14] C. Ellison, B. Frantz, B. Lampson, R. Rivest, B. Thomas y T. Ylonen, SPKI certificate theory (No. RFC 2693), 1999. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc2693>
- [15] L. P. Aguirre, F. González y D. Mejía, "Aplicaciones de MPLS, transición de IPv4 a IPv6 y mejores prácticas de seguridad para el ISP Telconet," *Rev. Politéc.*, vol. 32, 31 jul de 2013.
- [16] S. E. Abasolo Aranda y M. A. Carrera Paz y Miño, "Evaluación del modelo de referencia de Internet of things (IoT), mediante la implantación de arquitecturas basadas en plataformas comerciales, open hardware y conectividad IPv6," *Univ. Las Fuerzas Armadas ESPE*, ene. 2014.
- [17] F. Gont, "Security Implications of IPv6 on IPv4 Networks," 2014. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7123>
- [18] T. Ylonen y C. Lonvick, "The secure shell (SSH) connection protocol." 2006. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc4253>
- [19] O. E. Motta Barrera and R. Peláez Negro, "De la planeación de TIC a la implementación de IPv6 un escenario deseado para desarrollar el 'Internet de las cosas' en la Universidad de Ibagué Colombia." Red CLARA (Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas, 10-Dec-2011.
- [20] A. P. Santamaría Alamar, "Análisis, diseño e implementación de una red prototipo utilizando el protocolo IPv6 y QoS para la empresa Santanet," [Tesis de maestría], Depto. Ing. Univ. Politéc. Sales., Ecuador, 2014.
- [21] F. R. Flores Calahorrano, "Análisis y emulación de Multihoming y de la publicación al internet de servicios web, transferencia de archivos y correo a través de una red IPV6," [Tesis de maestría], Depto. Ing. Univ. Politéc. Sales., Ecuador, 2014.
- [22] M. H. Warfield, Security implications of IPv6. Internet Security Systems, 2003.
- [23] F. Baker, X. Li, C. Bao, and K. Yin, "Framework for IPv4/IPv6 Translation," Internet Engineering Task Force (IETF), 2011. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc6144>.
- [24] J. P. Martínez. *IPv6 para Todos: Guía de uso y aplicación para diversos entornos*, 2009.
- [25] G. U. O. Jian. "Model of FTP server based on spring framework in IPv6 and it's implementation [J]." *Computer Eng. and Design* 19, 2008.
- [26] M. Allman y S. Ostermann, "FTP Security Considerations," 1991. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc2577>
- [27] W. Zheng, S. Liu, Z. Liu y Q. Fu. "Security transmission of FTP data based on IPsec," In 2009 1st IEEE Symposium on Web Society, pp. 205-208, 2009. DOI: 10.1109/SWS.2009.5271783
- [28] R. Atkinson y S. Kent, "IP Encapsulating Security Payload (ESP)," 1998. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc2406>
- [29] S. Kent, "IP Authentication Header", 2005. [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc4302>
- [30] C. García Martín, "Análisis de seguridad en redes IPV6," Universidad Carlos III de Madrid, [Tesis de maestría], Dept. Ing. Telem. Univ. Carlos III de Madrid, Getafe, España, 2012.
- [31] T. Mrugalski y D. Hankins, "Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6 (DHCPv6) Option for Dual-Stack Lite", 2011.[Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc6334>

Relación entre los Ensayos Ultrasonico y Convencional para determinar la Resistencia del Concreto Simple a la Compresión*

Correlation between Ultrasonic and Conventional Tests in Order to Determinate the Compression Strength of Plain Concrete

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.10>

Artículo de Investigación Científica - Fecha de Recepción: 09 de Septiembre de 2015 - Fecha de Aceptación: 07 de Diciembre de 2015

Jorge Enrique Cruz Benedetti

Especialista en Análisis y diseño de estructuras y en Gerencia de Proyectos de Construcción. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería (Colombia). jecruzbg@gmail.com

Luisa Martínez Acosta

Magister en Ingeniería Civil. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería (Colombia). ingluisamartinez@gmail.com

Álvaro López Ramos

Magister en Hidrología. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería (Colombia). alvaro.lopezr@upb.edu.co

Jaime Andrés Lakah Durango

Especialista en Gerencia para Ingenieros. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería (Colombia). jaime.lakah@upb.edu.co

Claudia Ceballos Díaz

Magister en Ingeniería Civil. Universidad Pontificia Bolivariana. Montería (Colombia). claudia.ceballos@upb.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

J. E. Cruz Benedetti, L. Martínez Acosta, Á. López Ramos, J. A. Lakah Durango y C. Ceballos Díaz "Relación entre los Ensayos Ultrasonico y Convencional para Determinar la Resistencia del Concreto Simple a la Compresión", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 94-98, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.10>

Resumen-- Los ensayos de resistencia de especímenes de concreto por el método de ondas ultrasónicas contienen muchas variables tales como tamaño de los agregados, relación agua cemento, temperatura, densidad de los materiales, entre otros, que inciden en la resistencia final del espécimen. Sin embargo, se ha constituido en un método no destructivo rápido para diagnosticar resistencias de estructuras ya construidas y detectar anomalías tales como fisuras o discontinuidades. En este artículo se halla una correlación entre las lecturas de las ondas ultrasónicas y la resistencia a la compresión de concretos de 17.5, 21, 24.5 y 28 MPa para 7 y 28 días, con diferentes agregados gruesos y finos de la ciudad de Montería, de manera que se pueda diagnosticar la resistencia del concreto de las estructuras antiguas que no cumplan con la Reglamente Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR 10.

Palabras claves-- agregados pétreos; resistencia a la compresión; ultrasonido.

Abstract-- Strength tests of concrete specimens by the method of ultrasonic waves contain many variables such as the size of aggregate, water cement ratio, temperature, density of materials, among others, that affect the final strength of the specimen. However, it has become a fast nondestructive method to diagnose resistant of already built structures and detect anomalies such as cracks or discontinuities. This article finds a correlation between the readings of the ultrasonic waves and the compressive strength of concrete at 17.5, 21, 24.5 and 28 MPa for 7 and 28 days, with varying coarse and fine aggregates of Montería city so as to diagnose the concrete strength of the ancient structures that do not comply with the Regulation Colombian Earthquake Resistant Construction - NSR 10.

Keywords-- Petrous Aggregates; Strength Compressive Test; Ultrasound.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado: "Estudio de correlación entre las lecturas de velocidad de onda de un instrumento de ultrasonido y la resistencia a la compresión de especímenes de concreto con diferentes dosificaciones de materiales de la región". Financiado por la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Montería. Fecha de inicio: julio de 2010. Fecha de finalización: diciembre de 2011.



I. INTRODUCCIÓN

Existen múltiples métodos para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto simple, los cuales se clasifican en destructivos y no destructivos y que dependen de la conservación de la integridad del espécimen empleado en la realización del ensayo; entre los primeros el más utilizado es el de rotura de cilindros con la máquina de compresión. La resistencia a la compresión se obtiene dividiendo la fuerza aplicada entre el área de la sección transversal de la probeta.

Existen diversos métodos no destructivos para determinar la resistencia del concreto, entre los cuales se pueden enumerar: uso del ultrasonido para la reconstrucción de una imagen en 3D del espécimen a estudiar [1]; correlación de VPU (Velocidad de Pulso Ultrasónico) con redes neuronales, las cuales dan unas predicciones confiables de la resistencia [2]; ultrasonido con Amplitud del Pulso Ultrasónico (APU) [3], entre otros. Para este estudio se escogió la utilización del método no destructivo del ultrasonido VPU, el cual es más utilizado que el APU, mediante el cual se obtienen lecturas del tiempo que demora una onda al recorrer una distancia a través del concreto, y que guardan relación con la resistencia del mismo.

Conociendo que la resistencia del concreto depende entre otros factores del tipo de agregados pétreos utilizados en su elaboración [4, 5], se plantea hallar una correlación estadística apropiada entre el pulso ultrasónico y el ensayo a compresión del concreto simple con diferentes tipos de agregados de la región de Córdoba para diferentes resistencias, específicamente de la ciudad capital Montería, la cual presenta una actividad constructora en auge y que también cuenta con construcciones vetustas declaradas patrimonio arquitectónico y que por lo tanto deberán potencializarse para cumplir con el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR – 10) [6]. La ciudad está asentada a orillas del Río Sinú, el cual proporciona unos excelentes agregados pétreos (canto rodado y arena de alto módulo de finura), para la actividad constructora que tradicionalmente se han utilizado con una dosificación en volumen de 1:2:3 consiguiéndose fácilmente unas resistencias superiores a los 28 MPa. En los últimos años, y debido a la demanda de las obras civiles se está utilizando piedra caliza triturada de canteras aledañas al Municipio de Montería que forma parte del sistema de serranías terminales de la Cordillera Occidental de Los Andes Colombianos y que está clasificado como depósitos aluviales y llanuras aluviales pertenecientes a la era Cenozoica, periodo cuaternario (Qal) [7]

Además de obtener la resistencia a la compresión de elementos de concreto reforzado (CR), se podrán detectar fisuras, discontinuidades y delaminaciones por la diferencia de lecturas en zonas cercanas una de la otra [7].

Se ha comprobado en estudios previos que las grietas de los especímenes sometidos al ensayo de com-

presión estándar aparecen cuando se le ha aplicado el 85% de la carga de rotura y la velocidad del pulso ha bajado a un 94% [13].

Existen otros estudios similares al propuesto en este artículo, en donde solamente se ha relacionado concretos elaborados con agregados de caliza mediante la utilización del pulso ultrasónico [17].

En este estudio se amplió el rango de materiales pétreos de acuerdo al número de combinaciones de resumidos en el cuadro 1, de materiales obtenidos en la zona de estudio:

TABLA I. COMBINACIONES DE AGREGADOS PARA LAS MEZCLAS

Grupo	Arena fina	Arena gruesa	Caliza	Canto rodado	Caliza+canto rodado
1	x		x		
2	x			x	
3	x				x
4		x	x		
5		x		x	
6		x			x

Fuente: Autor

II. METODOLOGÍA

a) Caracterización de los agregados pétreos y diseño de mezclas: se hicieron análisis granulométricos de suelos por tamizado (INV. E-123-07) [8] y masa unitaria suelta y compacta de los agregados (NTC 237 y NTC 176) [9], [10]. Se hizo un diseño de mezcla de conformidad con lo establecido en ACI-211 , para dosificar concreto normal y pesado.

El diseño de mezcla fue hecho para resistencias de 17.5, 21.0, 24.5 y 28.0 MPa, usando como agregados pétreos arena fina, arena gruesa, piedra caliza de cantera y grava o canto rodado del Río Sinú y una relación agua cemento alrededor de 0.45 en promedio [11]. Para la mezcla de caliza y Canto rodado de las combinaciones 3 y 6, se utilizó una proporción de 50% para cada una [12].

b) Pruebas de ultrasonido y rotura de probetas: Los especímenes utilizados para este estudio tenían un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm, medidas estándar para un cilindro de prueba de concreto con una relación alto/ancho de 2.

Se tomaron datos de velocidad de pulso por transmisión directa que arroja resultados más precisos; se rompieron las probetas en la máquina de compresión estándar y se obtuvieron datos de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días de edad, para las cuatro resistencias propuestas.

Los datos obtenidos se tabularon y graficaron con respecto a su edad en dos esquemas de velocidad vs resistencia y a través del análisis estadístico de estos datos se establecieron los valores de correlación apropiados [14].

RELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS ULTRASÓNICO Y CONVENCIONAL PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SIMPLE A LA COMPRESIÓN

El número de probetas diseñadas y falladas para cada combinación fue de ochenta (80), divididos en grupos de cuarenta (40) para dos edades de 7 y 28 días respectivamente con resistencias de diseño 17.5, 21.5, 24 y 28.5 Mpa; se limitó este proyecto de investigación al rango anteriormente descrito porque se conoce por estudios previos que para concretos de alto desempeño las pruebas ultrasónicas no son las más adecuadas [15]

Se contrastó la normalidad de los datos a través del método Shapiro-Wilk, se descartaron datos por el criterio de Chauvenet y se aplicó análisis de varianza ANOVA. La correlación de Pearson hallada fue lineal a excepción de la combinación 5 [16].

III.RESULTADOS

a) Los resultados de granulometrías típicas de los materiales utilizados se presentan a continuación:

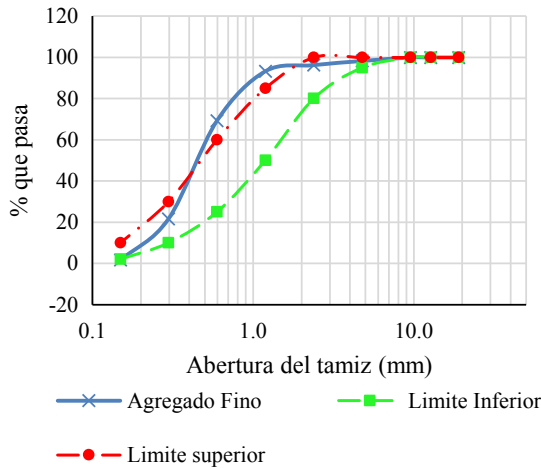


Fig. 1. Arena fina del Río Sinú. Fuente: Autor

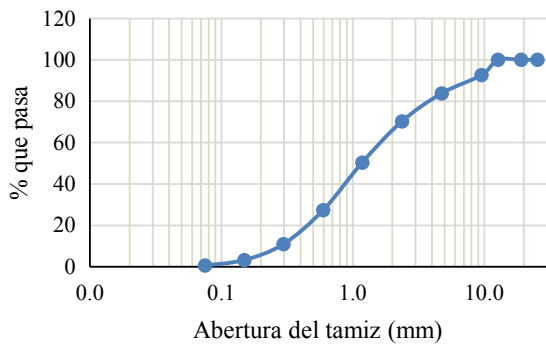


Fig. 2. Arena gruesa del Río Sinú. Fuente: Autor

De las figuras 1 y 2 se obtuvo el módulo de finura para las arenas finas y gruesas los cuales fueron 2.19 y 3.61, respectivamente, valores típicos para estas clases de arena.

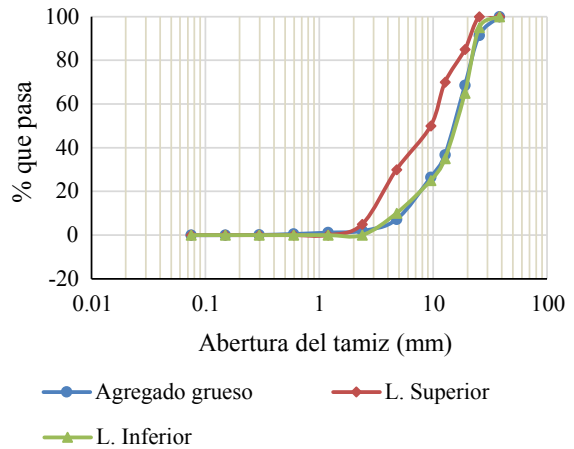


Fig. 3. Canto rodado (grava) del Río Sinú. Fuente: Autor

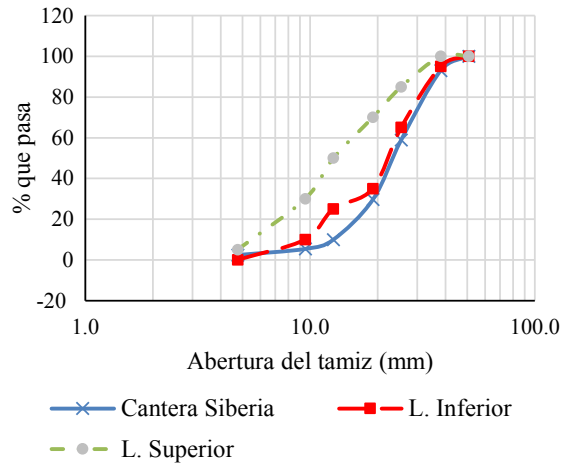


Fig. 4. Triturado (Caliza) cantera La Siberia. Fuente: Autor

TABLA II. VELOCIDADES DE PULSO OBTENIDAS

Grupo	Combinación de agregados	Rango de lecturas para resistencias de 28 MPa (m/s)
1	Arena fina del río Sinú con caliza de cantera Siberia	4110 – 4202
2	Arena fina con Canto rodado (río Sinú)	3830 – 4075
3	Arena fina con Canto rodado (río Sinú) y caliza de la cantera Siberia	3570 – 4470
4	Arena gruesa del río Sinú con caliza de la cantera Siberia	3930 – 4010
5	Arena gruesa con canto rodado (río Sinú)	3630 – 3760
6	Arena gruesa con Canto rodado (río Sinú) y caliza de la cantera Siberia	4010 – 4800

Fuente: Autor

Las figuras 3 y 4 muestran la granulometría de los agregados gruesos (canto rodado y caliza), lo cuales cumplen con los límites superiores e inferiores indicados en la Norma NTC – 174 [19].

b) En el cuadro 2 se resumen las velocidades de onda obtenidas para cada una de las diferentes dosificaciones.

c) Las gráficas de correlación para las diferentes combinaciones de materiales pétreos y resistencia se relacionan a continuación:

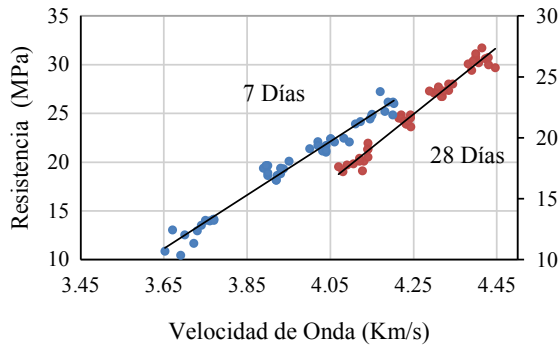


Fig. 5. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días combinación 1: arena fina y caliza. Fuente: Autor

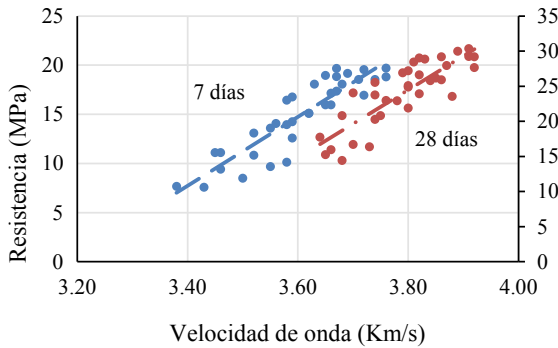


Fig. 6. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días combinación 2: arena fina y Canto rodado río Sinú. Fuente: Autor

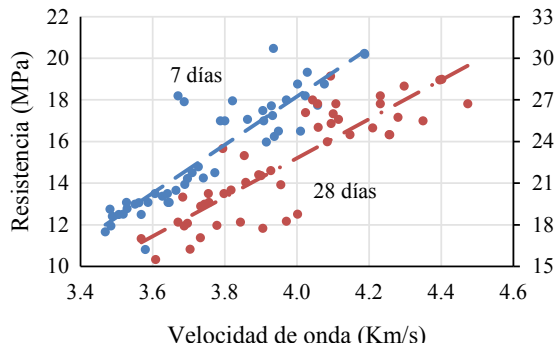


Fig. 7. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días combinación 3: arena fina y caliza más canto rodado río Sinú. Fuente: Autor

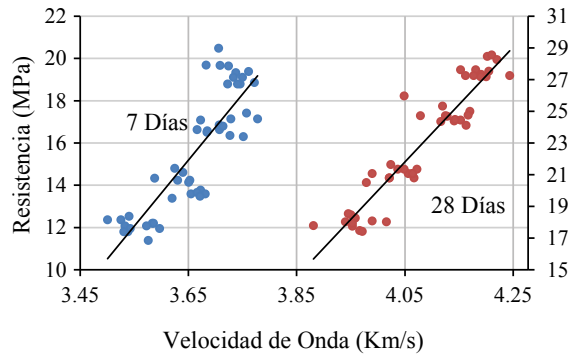


Fig. 8. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días combinación 4: arena gruesa y caliza. Fuente: Autor

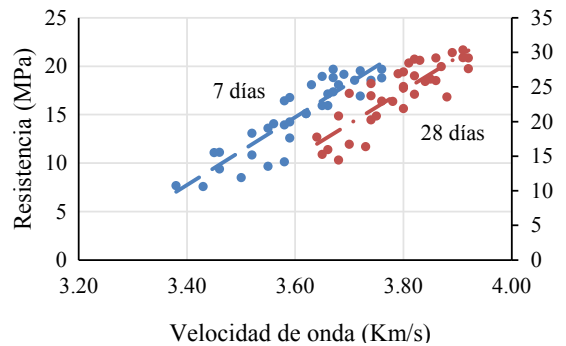


Fig. 9. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días combinación 5: arena gruesa y Canto rodado río Sinú. Fuente: Autor

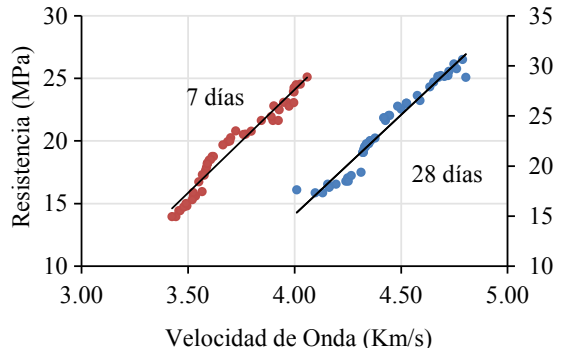


Fig. 10. Resistencia a la compresión a 7 y 28 días combinación 6: arena gruesa y caliza más Canto rodado río Sinú. Fuente: Autor

Las ecuaciones de correlación resultantes en el presente trabajo con sus respectivos factores de correlación se obtuvieron de las figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10, y se muestran a continuación en los cuadros III y IV, para 7 y 28 días respectivamente:

RELACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS ULTRASÓNICO Y CONVENCIONAL PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA DEL CONCRETO SIMPLE A LA COMPRESIÓN

TABLA III. ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA 7 DÍAS

Grupo	Ecuación	R ²
1	$y=21.9565x-69.216$	0.9700
2	$y=17.80x-53.90$	0.7920
3	$y=11.612x-28.284$	0.8012
4	$y=31.219x-98.762$	0.7325
5	$y = 35.037x - 111.39$	0.8156
6	$y=15.609x-41.935$	0.9526

Fuente: Autor

TABLA IV. ECUACIONES DE CORRELACIÓN PARA 28 DÍAS

Grupo	Ecuación	R ²
1	$y=34.219x-120.5$	0.9685
2	$y=40.72x-141.2$	0.8960
3	$y=14.068x-33.466$	0.7374
4	$y=36.245x-124.99$	0.8844
5	$y = 48.269x - 158.94$	0.7154
6	$y=19.948x-64.654$	0.9565

Fuente: Autor

IV. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de acuerdo a las diferentes combinaciones presentadas, se deduce que conociendo las proporciones y procedencia de los materiales empleados en la mezcla para la elaboración del concreto, se puede realizar una estimación de la resistencia de dicho concreto utilizando un equipo de ultrasonido, sin realizar ensayos destructivos.

Sin embargo, no siempre se cuenta con los datos relativos a la procedencia de los materiales, lo cual impediría aplicar esta metodología para encontrar la resistencia de los especímenes.

Una vez hallada dicha correlación entre los dos métodos, se podrán hacer ensayos ultrasónicos a estructuras que se quieran potencializar a través de estudios de vulnerabilidad sísmica [6], construidas con materiales similares a los de este estudio y de esta manera predecir con certeza la resistencia del concreto sin necesidad de destruir los elementos.

REFERENCIAS

[1] A. O. De La Haza, A. A. Samokrutov, and P. A. Samokrutov, "Assessment of concrete structures using the Mira and Eyecon ultrasonic shear wave devices and the SAFT-C image reconstruction technique," *Constr. Build. Mater.*, vol. 38, pp. 1276–1291, 2013.

[2] M. A. Kewalramani and R. Gupta, "Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks," *Autom. Constr.*, vol. 15, no. 3, pp. 374–379, 2006.

[3] P. Antonaci, C. L. E. Bruno, A. S. Gliozzi, and M. Scalerandi, "Monitoring evolution of compressive damage in concrete with linear and nonlinear ultrasonic methods," *Cem. Concr. Res.*, vol. 40, no. 7, pp. 1106–1113, 2010.

[4] K. Komlóš, S. Popovics, T. Nürnbergrová, B. Babál, and J. S. Popovics, "Ultrasonic pulse velocity test of concrete properties as specified in various standards," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 18, no. 5, pp. 357–364, Jan. 1996.

[5] J. Berriman, P. Purnell, H. D.A. y A. Neild, "Humidity and Aggregate content correction factors for air-coupled ultrasonic evaluation of concrete," *Ultrasonics*, no. 43, pp. 211-217, 2005.

[6] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, Bogota: AIS, 2010.

[7] P. J. J. T. y J. Kim, "Detection of delamination in concrete using ultrasonic pulse velocity test," *Constr. Build. Mater.* no 26, pp. 574-582, 2012.

[8] INVIAS, «INVIAS,» 03 05 2013. [En línea]. Available: http://www.invias.gov.co/index.php/documentos-tecnicos-izq/cat_view/11-documentos-tecnicos/68-especificaciones-generales-de-construccion-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras. [Último acceso: 20 05 2013].

[9] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 237 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino, Bogotá: ICONTEC, 1995.

[10] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 176 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso, Bogotá: ICONTEC, 1995.

[11] E. Ohdaira y N. Masuzawa, "Water content and its effect on ultrasound propagation in concrete — the possibility of NDE," *Ultrasonics*, no. 38, pp. 546-552, 2000.

[12] R. G. Solís Carcaño, E. I. Moreno y W. R. Castillo Pak, "Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados" *Ingeniería Revista Académica*, vol. 8, n° 002, pp. 41-52, 2004.

[13] H. Y. Qasrawi and I. A. Marie, "The use of USPV to anticipate failure in concrete under compression," *Cem. Concr. Res.*, vol. 33, no. 12, pp. 2017–2021, 2003.

[14] M. T. Liang and J. Wu, "Theoretical elucidation on the empirical formulae for the ultrasonic testing method for concrete structures," *Cem. Concr. Res.*, vol. 32, no. 11, pp. 1763–1769.

[15] H. K. Lee, K. M. Lee, Y. H. Kim, H. Yim, and D. B. Bae, "Ultrasonic in-situ monitoring of setting process of high-performance concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 34, no. 4, pp. 631–640, 2004.

[16] L. J. Devore, Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias, Thompson, 2005.

[17] R. Solís y E. I. Moreno, "Evaluation of concrete made with crushed limestone aggregate based on ultrasonic pulse velocity," *Construction and Building Materials*, no. 22, pp. 1225-1231, 2008.

Plataformas y Herramientas Educativas como parte del PLE del Docente. Caso Asistente Digital para Planeación Curricular ConTIC

Platforms and Educational Tools as part of PLE of Teacher. Case for Planning Digital Assistant Curriculum ConTIC

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.11>

Artículo de Investigación Científica - Fecha de Recepción: 30 de Septiembre de 2015 - Fecha de Aceptación: 14 de Diciembre de 2015

Mónica María Rojas Rincón

Magister en Ingeniería de Sistemas y Computación. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín (Colombia)
mmrojas@elpoli.edu.co

Gustavo Alberto Moreno López

Magister en Ingeniería. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín (Colombia)
gamoreno@elpoli.edu.co

Claudia Alejandra Rosero Noguera

Magister en Ingeniería. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Medellín (Colombia)
carosero@elpoli.edu.co

Para citar este artículo / To reference this paper:

M. M. Rojas Rincón, G. A. Moreno López y C. A. Rosero Noguera, "Plataformas y herramientas educativas como parte del PLE del docente. Caso asistente digital para planeación curricular ConTIC", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 99-106, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.11>

Resumen-- Las TIC tienen un papel importante en la educación. Enmarcado en los entornos de aprendizaje personal -PLE, donde cada individuo identifica los recursos que emplea para aprender, crear y compartir, el docente como guía, tiene un reto de apropiarse también de las TIC. Esta presentación hace parte del proyecto "Modelo de asistente para la construcción pedagógica de microcurrículos apoyado en TIC para instituciones educativas de básica y media", bajo el programa "Apropiación pedagógica de las TIC en las escuelas innovadoras del CIER Occidente", apoyado por Colciencias-MEN. Para el proyecto se definió la metodología de investigación basada en diseño (IBD). En este documento se indica un resumen de las herramientas y plataformas educativas, se presenta una herramienta digital que actúa como asistente para la planeación curricular denominado ConTIC, y una propuesta general del entorno de aprendizaje personal -PLE del docente que incluye a ConTIC.

Palabras claves-- TIC; plataformas; herramientas; PLE; Docente; Asistente para planear la clase.

Abstract-- ICT has an important role in education. Framed in personal learning environments-PLE, where every individual identifies the resources used to learn, create and share, the teacher as how guide, also has a challenge of appropriate ICT. This presentation is part of the Project "Wizard Model for the pedagogical construction of micro curricula supported by ICT, for educational institutions in primary and secondary" under the program "pedagogical appropriation of ICT in innovative schools CIER West", supported by Colciencias-MEN. For the project was defined the methodology, design-based research. This document is a summary of the tools and learning platforms indicated, is presented a digital tool that acts as a wizard for curriculum planning called ConTIC, and a general proposal of teacher PLE which includes ConTIC.

Keywords-- ICT; Platforms; Tools; PLE; Teacher; Wizard to Plan Class.

I. INTRODUCCIÓN

Sin lugar a dudas las TIC (Tecnologías de la información y la comunicación), han jugado un papel importante en diferentes sectores de la sociedad, y en el sector educativo para favorecer, enriquecer el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Las plataformas tecnológicas de e-learning como lo definen Carneiro y otros [1] p.99 “son programas de ordenador que se utilizan para la creación, gestión y distribución de actividades formativas a través de la web. Estas aplicaciones facilitan entornos de enseñanza-aprendizaje mediante la integración de materiales didácticos, herramientas de comunicación, colaboración y gestión educativa”.

En este documento se pretende bajo el contexto de los entornos personales de aprendizaje (PLE), presentar en forma global los recursos TIC que pueden beneficiar al docente, enfatizando en una propuesta de herramienta que actúa como asistente digital de gestión de unidades de aprendizaje denominada CONTIC, y la inclusión de esta al diseño del PLE docente.

La propuesta hace parte del proyecto “Modelo de asistente para la construcción pedagógica de microcurrículos apoyado en TIC para instituciones educativas de básica y media”, bajo el programa “Apropiación pedagógica de las TIC en las escuelas innovadoras del CIER Occidente”, apoyado por Colciencias-MEN. Para efectos de retroalimentación, pruebas y validaciones se aplicó en las Instituciones educativas INEM José Félix de Restrepo y Gabriel García Márquez (GGM) de Medellín.

El problema o necesidad que se planteó en el proyecto, es sobre la integración de las TIC al quehacer diario de los docentes, y que se carece de recursos tecnológicos enfocados a facilitar y asistir a los docentes en su proceso de planeación, organización, implementación y evaluación del currículo. De acuerdo al programa todos a aprender (PTA) del Ministerio

de Educación Nacional, se hace necesario fortalecer la planeación de las clases, para aprovechar el espacio y mejorar los resultados de aprendizaje [2]. Además los docentes encuestados en las I.E, INEM y GGM, manifestaron que cuando planean usan un formato en Word o Excel, y que les gustaría tener una herramienta web.

En el resto del artículo está organizado de la siguiente forma, en primer lugar la revisión del contexto de las plataformas genéricas y específicas, el concepto de los PLE, ejemplos de plataformas y herramientas educativas; Luego en resultados, se presenta el asistente curricular digital Contic, la evaluación y la propuesta de un escenario del PLE docente que incluye a conTIC.

II. REVISIÓN CONCEPTUAL

Las plataformas educativas se distinguen entre las que son de carácter general y las específicas. Las plataformas específicas según Ana Fernández, tienen el objetivo de:

mejorar la eficacia y eficiencia académica (para una mejor y más rápida enseñanza y aprendizaje), especializándose en determinadas áreas de conocimiento o completando la funcionalidad de las plataformas genéricas. Así se encuentran plataformas especializadas en a) un dominio (competencia o materia) concretas; b) un modelo y/o metodología de aprendizaje específico, o finalmente, c) una tarea específica. Estas plataformas construyen y gestionan los EA siguiendo unos criterios específicos del dominio. [3] p.7

La figura 1 ilustra una clasificación general de las plataformas de apoyo al proceso educativo. Además se encuentran otras herramientas que apoyan la gestión y preparación del proceso educativo.

La siguiente tabla presenta un comparativo general de estas plataformas.

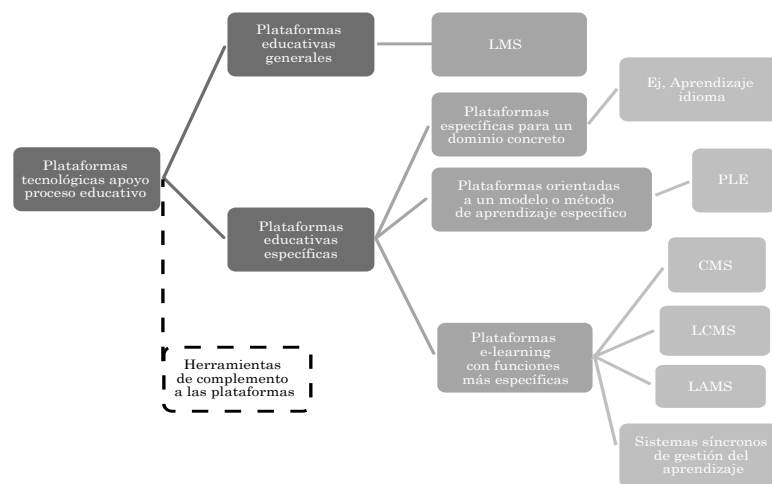


Fig. 1. Clasificación general de plataformas educativas.

Fuente: Autor

TABLA I. COMPARATIVO GLOBAL PLATAFORMAS.

Características	LMS	CMS	LCMS	LAMS
Significado	Sistema de gestión de aprendizaje	Sistema de gestión de contenidos	Sistema de gestión de contenidos de aprendizaje	Sistema de gestión de actividades de aprendizaje
Principal función	Administrar usuarios, distribuir contenidos y dar seguimiento del aprendizaje	Administrar y crear contenidos	Administrar usuarios, seguimiento aprendizaje, y crear contenidos	Administrar secuencias de actividades de aprendizaje
Integración			LMS + CMS	Puede integrarse ej con LMS
Soporta estándares	Si varios	Algunos	Si varios	Si, combinado por ejemplo con LMS

Fuente: Autor

En la sesión B, se indican ejemplos de cada una de estas plataformas.

A. Entorno Personal de Aprendizaje - PLE

De acuerdo a Pampillón [3] p.8 los PLE “no han sido concebidas estrictamente como plataformas educativas”. Pero un PLE contempla a la vez, un enfoque pedagógico como tecnológico.

En Castañeda se define PLE (Personal Learning Environment), o entorno de aprendizaje personal como:

“el conjunto de herramientas, fuentes de información, conexiones y actividades que cada persona utiliza de forma asidua para aprender” [4] p. 23. Es decir, el PLE de las personas se configura por los procesos, experiencias y estrategias que el aprendiz puede y debe poner en marcha para aprender y, en las actuales condiciones sociales y culturales, está determinado por las posibilidades que las tecnologías abren y potencian. [4] p.17

Castañeda comenta que las partes del PLE son:

1. Herramientas y estrategias de lectura: las fuentes de información a las que accedo que me ofrecen dicha información en forma de objeto o artefacto (mediatecas);
2. Herramientas y estrategias de reflexión: los entornos o servicios en los que puedo transformar la información (sitios donde escribo, comento, analizo, recreo, publico), y
3. Herramientas y estrategias de relación: entornos donde me relaciono con otras personas de/con las que aprendo”. [4] p.17

Luego en el PLE se integran 3 partes principales, como indica la figura 2:

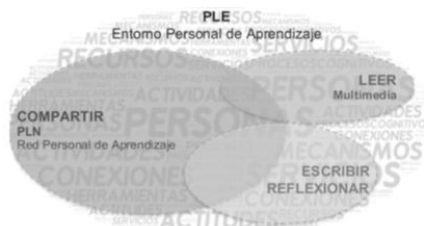


Fig 2. Partes principales del PLE. Fuente: [4]

Como se indica en la figura anterior, y lo resalta Castañeda “no sólo se habla de un PLE individual y formado por mí y “mis cosas” para aprender, sino que se incluye mi entorno social para aprender (Red Personal de Aprendizaje) o PLN”, “con sus fuentes y relaciones como parte fundamental de ese entorno” [4] p.19

El enfoque pedagógico del PLE. En la era de la digitalización, las tecnologías, las diferentes posibilidades de conexiones, el aprendizaje está en todas partes. Una de las teorías en la que se sustenta la utilización de las TIC (tecnologías de la información y la comunicación) para el aprendizaje, es el conectivismo, una teoría de aprendizaje para la era digital [5]. EL PLE además se complementa en el “modelo de aprendizaje socio-constructivista en el que el estudiante es el protagonista de su propio aprendizaje, cooperando y colaborando con el grupo para construir nuevos conocimientos” Pampillón [3] p.8.

Varios autores han contemplado el tema de los PLE, como Castañeda [4] p.164, Llamas Nistal y otros [6], Mohd y Shahbodin [7], Moccozet y otros [8], la Universidad de Aveiro [9] con el Sapo Campus, el proyecto Dipro 2.0 [10], el cual está enfocado al “Diseño, producción y evaluación de un entorno de aprendizaje 2.0, para la capacitación del profesorado universitario en la utilización de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC)”, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España. Hasta ahora en la literatura no se contempla una herramienta de asistente de planeación curricular que sea parte del PLE docente, y aún hace falta más investigación y experiencias con los diseños de PLE. Específicamente en Colombia, sólo se encontró una herramienta relacionada con la planeación del currículo, Currículo Interactivo 2.0 de Eduteka [11], la cual es para currículos de informática.

B. Plataformas educativas

Dentro de las plataformas educativas generales, tenemos los LMS (*Learning Management Systems*), sistemas de gestión de aprendizaje, “que se emplea para crear, aprobar, administrar, almace-

nar, distribuir y gestionar las actividades de formación virtual (puede utilizarse como complemento de clases presenciales o para el aprendizaje a distancia) [12] p.28.

Son ejemplos de LMS libres (Moodle, .LRN, Atutor, Sakai, Claroline, entre otros). Ejemplos de LMS comerciales son (Blackboard, Desire2learn, Firstclass, E-college, entre otros). Otros ejemplos son los empleados para los cursos online abiertos masivos, conocidos como MOOC (*Massive Open Online Course*), entre ellos Udacity, Coursera, edX, Edmodo, entre otros.

Dentro de las plataformas educativas específicas tenemos, los CMS (*Content Management System*), sistemas de gestión de contenido, “aplicaciones que permiten la creación, almacenamiento indexado, clasificación, publicación y gestión multiusuario y concurrente del ciclo de vida de los contenidos”. Mejoran las capacidades de los LMS, “limitadas al almacenamiento en directorios y a la publicación” [3] p.9. Son ejemplo de estas plataformas, Phone, Silva, Drupal, Wordpress, Joomla, entre otras.

Un LCMS (*Learning Content Management System*), son sistemas de gestión de aprendizaje y contenidos. “Es un sistema independiente o integrado con el LMS, que incorpora la creación y administración de contenidos de aprendizaje a diferentes niveles para personalizar los recursos a cada alumno” [1] p.103. Entonces un LCMS como indica Ninoriya [13], combina la robustez del CMS integrándolo en el LMS. Algunos ejemplos plataformas LCMS son, Acontent, Xyleme, Open Authoring, Exact.

Un LAMS (*Learning Activities Management Systems*), son sistemas de gestión de secuencias de actividades de aprendizaje. Como lo indica Pampillón [3] p.10, el LAMS “Tienen como objetivo la construcción de EA instruccionales. LAMS se puede utilizar como un sistema independiente o en complementado con otros sistemas de gestión de aprendizaje (LMS) como Moodle, o .LRN. Ejemplos de estas plataformas son el de la fundación LAMS [14], o CopperCore [15].

Otras plataformas complementarias y que son para tiempo real son EVO, BigBlueButton, Adobe Connect Blackboard Collaborate, Elluminate Live, entre otras.

C. Herramientas complementarias

Existen infinidad de recursos como los resalta la Red Latinoamericana de portales educativos – RELPE [16], para crear, editar, interactuar, comunicar, compartir, entre otros. Son ejemplos los siguientes:

- Edición de imágenes (Picasa, Gimp, Flickr, twitpic, entre otras).
- Edición de texto (Google Docs, Openoffice, ZohoWriter, entre otras).

- Edición de audio (Mybytes, audacity, sibelius, entre otras).
- Edición video y publicación (Camtasia, Youtube, Vimeo, atubecatcher, Windows movie maker, entre otras).
- Para videoconferencias (Skype, VyEW, SwowDocument, entre otras).
- Para presentaciones (Prezi, Zoho Show, 280Slides, Slideshare).
- Trabajar en la nube (Dropbox, Beluga, Google Apps, entre otras).
- Publicar documentos (Scribd, Cuadernia, issuu, entre otras).
- Realizar mapas mentales y/o conceptuales (Cmaptools, Freemind, mindmeister, Xmind, Spiderscribe, entre otras).
- Usar Wiki (Wikispaces, Wikia, Wikipedia, entre otras).
- Realizar Blogs (Blogger, Wordpress, Posterous, entre otras).
- Usar redes sociales (Twitter, Google +, Facebook, Ning, Linkedim, entre otras).
- Usar mapas (Google maps, Google earth, Umapper, Xpeditions Atlas, Animaps, entre otras).
- Generar comics y dibujos animados (Stripgenerator, Toondoo, Wittycomics, entre otras).
- Realizar actividades académicas (Content generator, Lim, Webquest creator, LAMS, QuizRevolution, JClic, eduplay, entre otras).
- Marcadores sociales (Digg, Excite, entre otras).
- Entre otros recursos.

III.METODOLOGÍA

La metodología es basada de la investigación basada en diseño (IBD) [17], diseño y exploración de todo tipo de innovaciones educativas, en donde se contemplan también las experiencias relacionadas con implementación de nuevas tecnologías de información y comunicación. Este tipo de investigación es seleccionada ya que posibilita que todas las personas implicadas en el proceso trabajen juntos para mejorar una situación problemática en un contexto real, y por el carácter cíclico en el diseño.

En el proyecto se aplicaron las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de información:

- Revisión bibliográfica y de documentación de experiencias
- Observación
- Encuesta
- Experimentación
- Triangulación

Para el proyecto se plantearon las fases de preparación, diseño, implementación, análisis y socialización de resultados.

En las fases de diseño e implementación se utiliza una metodología ágil, la fórmula de ciclos sucesivos conocida como SAM (*Successive Approximation Model*) [18], como ilustra la figura siguiente.

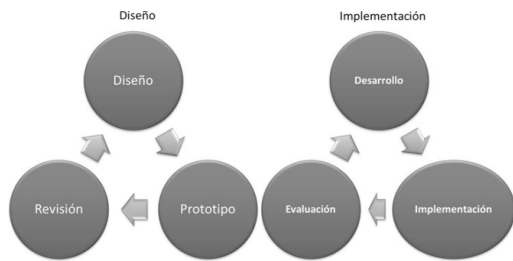


Fig 3. Aplicación de SAM en proyecto.
Fuente: Autor

El proyecto se articula con el programa a través del enfoque de la Investigación Acción Participación –IAP- en la que se apunta a la producción de un conocimiento propositivo y transformador, mediante un proceso de debate, reflexión y construcción colectiva de saberes entre los diferentes actores del programa (investigadores, coinvestigadores, estudiantes).

IV. RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados de la propuesta de herramienta TIC, un prototipo que actúa como asistente digital para las planeaciones curriculares denominada conTIC, las evaluaciones y posteriormente la propuesta de un diseño de PLE para el docente que incluya a conTIC.

A. Propuesta asistente digital ConTIC

La herramienta que actúa como asistente para la gestión de unidades de aprendizaje, se denomina conTIC, como ilustra la figura 4.



Fig 4. Logo conTIC.
Fuente: Autor

Teniendo en cuenta el proceso de planeación del microcurrículo de una asignatura y para el prototipo, se definieron cuatro componentes o etapas principales: caracterización de la planeación, definición de la planeación, ejecución y seguimiento, y finalmente la retroalimentación. En la etapa de caracterización de la planeación, se configura la información de la Institución y de la asignatura que se va a planear. En la etapa de definición de la planeación, se especifican las unidades de aprendizaje, las actividades y los recursos utilizados o necesarios en cada acti-

vidad. En la etapa de ejecución y seguimiento, se define las fechas en que la planeación se llevará a cabo, para realizar la autoevaluación de las unidades, recursos y actividades. Conforme se avance, el profesor puede recibir notificaciones y realizar observaciones. Y, en la etapa de retroalimentación, se obtiene el consolidado de la planeación realizada y del seguimiento realizado a la planeación.

El docente con el asistente digital conTIC, figura 5, podrá a) realizar la planeación de las clases, especificando las unidades de aprendizaje, actividades y recursos, b) obtener recomendaciones de estrategias de enseñanza, actividades y recursos que puede incluir en la planeación, c) obtener ayuda para definir las competencias que se quieren desarrollar en la unidad de aprendizaje y las estrategias que permiten hacerlo, d) interactuar con los docentes que participan. Además con el asistente digital conTIC, el docente puede hacer seguimiento y retroalimentación del proceso.



Fig. 5. Ejemplo interfaz inicial conTIC.
Fuente: Autor <http://54.174.104.82:3000/>

B. Evaluación del prototipo conTIC

Para efectos de evaluar el prototipo y proyectar las mejoras, se definieron tres fases, como ilustra la figura 6. Primero se diseñaron los instrumentos para la encuesta (<http://goo.gl/forms/yHrZVxIXrF>), seguidamente junto con la prueba del aplicativo se aplica la encuesta a dos docentes en cada una de las instituciones educativas (Gabriel García Márquez, e INEM José Félix de Restrepo), y posteriormente se obtiene los resultados.

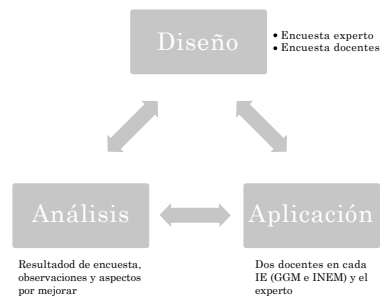


Fig. 6. Proceso evaluación conTIC.
Fuente: Autor

La encuesta contempló aspectos pedagógicos como técnicos. Algunos de los resultados se indican a continuación. Para un 100 % de los encuestados estaban de acuerdo con la satisfacción de conTIC como asistente, según las necesidades y expectativas, ver figura siguiente.

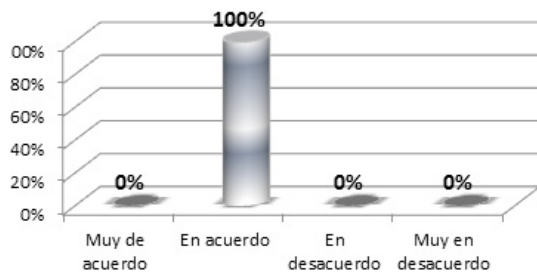


Fig. 7. Resultado satisfacción conTIC.
Fuente: Autor

Para un 75%, estaban de acuerdo en que ConTIC contempla elementos de la planeación particular del docente, ver figura 8.

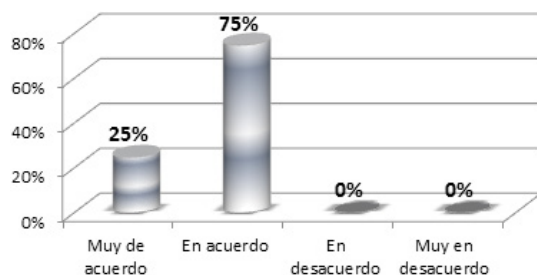


Fig. 8. Resultado elementos planeación conTIC.
Fuente: Autor

Por otro lado frente a la pregunta de sí el uso de ConTIC es intuitivo, un 75% estaban de acuerdo, y 25% en desacuerdo, ver figura 9. Por lo cual habría que trabajar en mejorar este aspecto.

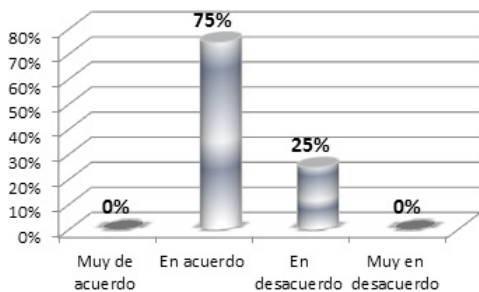


Fig. 9. Resultado uso-intuitivo.
Fuente: Autor

Para el 75 % estaban en desacuerdo en que el asistente presenta canales de comunicación para interactuar con otros docentes, y un 25 % en muy desacuerdo, ver figura 10. Si bien el prototipo contempló un chat para la comunidad, se requiere mejorar significativamente este aspecto.

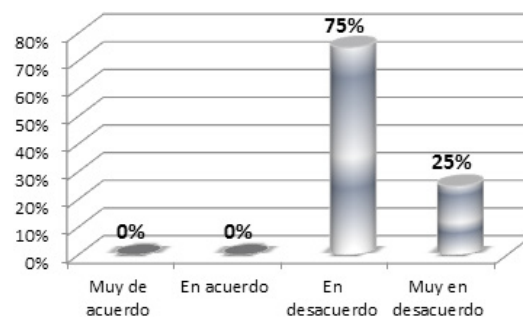


Fig. 10. Resultado comunicación-interacción.
Fuente: Autor

De acuerdo al análisis general de los resultados del prototipo conTIC, se tiene una buena aceptación de la herramienta como tal para ayudar a planear las clases, contempla elementos pedagógicos para definir las unidades de aprendizaje, competencias, actividades y recursos, pero habrá que mejorar ciertos aspectos técnicos del aplicativo web. Entre los aspectos a mejorar es la necesidad de implementar en el asistente diversos canales de comunicación que permitan la interacción con docentes de la misma Institución y de otras, facilitando la conformación de comunidades de aprendizaje según el área de formación, práctica o intereses personales. Entre otros aspectos a mejorar se tienen:

- Que permita trabajar de forma colaborativa en la planeación.
- La navegabilidad e intuición al usar la herramienta.
- Tener conexión con varios repositorios de contenidos educativos.
- Comunicación y seguimiento a estudiantes
- La consistencia en dar uno o dos clics en los botones.
- Añadir componentes de accesibilidad
- Plantilla configurable por el docente.
- Recibir las notificaciones vía correo.
- La opción de ayuda sea más óptima.
- Contemplar otros aspectos como (pregunta problematizadora, logros, indicadores de desempeño).

C. Propuesta diseño PLE docente incluyendo a conTIC

A la hora de diseñar un PLE para el docente, se deben considerar muchos aspectos, entre ellos los personales (gustos, intereses, experiencias, conocimientos, entre otros), identificar las fuentes de información, las herramientas para crear información, y con cuales se comparte la información. Por otro lado es una labor de explorar y aprender, a usar y apropiarse de las TIC. Esto puede ser a definición y elección de cada individuo, por lo cual en la propuesta que se plantea, se hace referencia a varias herramientas (que bien pueden ser otras), y a la incorporación de la herramienta digital conTIC para

apoyar en la planeación de las clases, abriendo más el abanico que conforma el PLE del docente. En la figura 11, se presenta la propuesta de un PLE para el docente.

Se resaltan cuatro partes resaltadas por Moreno [19] que contemplan un PLE:

Fuente de información: Es donde el usuario, en este caso el docente obtiene la información, y como “aprende”. Desde el contexto en que se mueve, su institución educativa, Ministerio de Educación, hasta las herramientas como buscador de google, flickr, youtube, pinterest, scoop it, RSS, correos en google o yahoo, redes sociales como twitter, páginas web específicas, cursos en Moodle, Udacity, repositorios de objetos de aprendizaje, información proveniente de publicaciones arbitradas (ej, IEEE, Science direct, etc) o bases de datos o libros reconocidos. En el caso en se use el asistente digital conTIC, desde esta etapa hay información que le será útil al docente para planeear, definir actividades y recursos.

Organizar-seleccionar: Dada la posible cantidad de información, el usuario o docente debe filtrar, eliminar, organizar y seleccionar la información que es primordial o de importancia. Puede usar herramientas como Scoop it, Pinterest, dropbox, google drive, delicious, “basurero”, zotero, evernote, entre otras. En el caso en que se use el asistente digital conTIC, en esta etapa se prepara y decide la información o recursos a usar (ej, links a determinado recurso).

Crear: Es donde el usuario o docente crea contenidos/información relacionados al proceso de enseñanza/aprendizaje y/o de investigación o profesional. Desde cualquier sistema operativo en que trabaje el

docente (Windows, iOS, android, Linux) puede usar diversas herramientas para editar textos, imágenes, videos, presentaciones, plataformas como Joomla, entre otros, y el asistente digital para gestionar unidades de aprendizaje conTIC. En el caso de usar conTIC, se crea las planeaciones.

Comunicar – compartir: Es donde el usuario o docente propicia que los contenidos/información creados, sean publicados y compartidos al público de interés. Herramientas como Blog, site, Moodle, google +, dropbox o google drive, youtube, redes sociales twitter o facebook, whatsApp, correos electrónicos, la publicación en revistas preferiblemente indexadas y ponencias en eventos, entre otros pueden usarse. Para el caso en que se use el asistente conTIC, el usuario puede interactuar por medio de un chat y compartir sus planeaciones con otros docentes.

V. CONCLUSIONES

Se presentó un resumen de plataformas y herramientas educativas, y una propuesta del asistente conTIC como otro recurso digital del entorno de aprendizaje personal- PLE para el docente, brindándole la posibilidad al docente que lo elija y se apropie de la herramienta, como asistente para la planeación de las clases.

Los PLE contempla tanto aspectos pedagógicos y tecnológicos. Cada docente define según su experiencia, necesidades, e intereses los diferentes recursos TIC para sus labores. Así, el prototipo conTIC, se propone como otra herramienta TIC para apoyar la gestión de unidades de aprendiza-

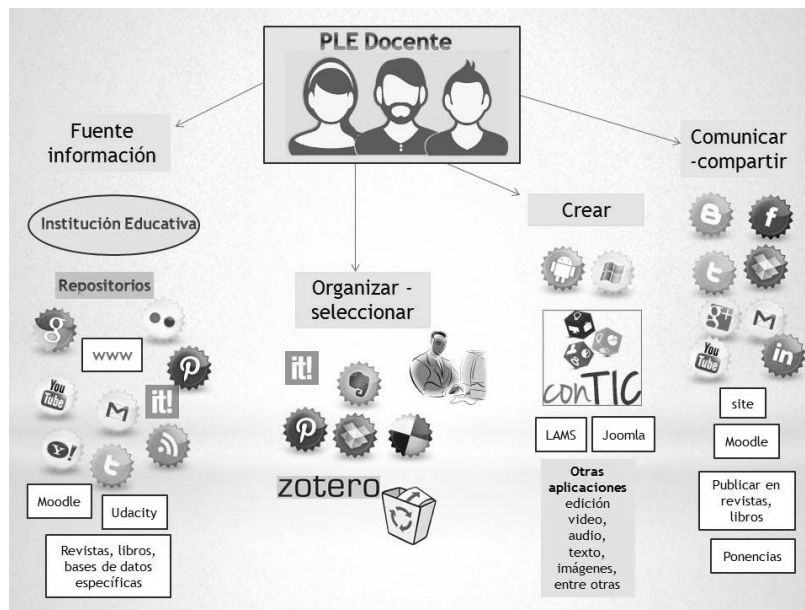


Fig. 11. Propuesta PLE docente con asistente conTIC.

Fuente: Autor

je. Sumado a que el docente use significativamente las TIC, y se planeen mejor las clases, habrá mayor calidad en el proceso de enseñanza y aprendizaje. Dada las ventajas de las TIC, la apropiación de estas al proceso educativo es un ejercicio continuo.

El factor diferenciador del asistente digital propuesto, es que es basado de los estándares de conocimiento y las opciones de acceder a los repositorios de objetos de aprendizaje definidos por el Ministerio de Educación Nacional. El asistente sirve para cualquier área de conocimiento o asignaturas de propósito general, y en principio en el contexto Colombiano y de carácter libre con todas las características.

El prototipo como tal fue probado y validado, realizando chequeo de su funcionalidad, y verificando su propósito para gestionar unidades de aprendizaje. En general los resultados de la encuesta fueron satisfactorios, resaltando aspectos técnicos y pedagógicos, lo cual indica que sí podría tener aceptación y opciones de implementación a gran escala, y proyectando las mejoras. Contic, como prototipo es un buen insumo para posterior trabajo de depuración y puesta a punto.

De acuerdo a las pruebas y resultados, los encuestados manifiestan según sus expectativas y necesidades, estar de acuerdo con un aplicativo web que apoye el proceso de planeación de las clases, indicando satisfacción con la propuesta del prototipo contic. Resaltan los elementos de la planeación y que se pueda definir la competencia, las actividades, y recursos asociados.

Como temáticas de investigación y desarrollo a futuro, se proyectan: depuración del prototipo e implementación masiva en diversas Instituciones educativas; Análisis y diseño para despliegue en diferentes plataformas (nube, servidores locales, app en android e ios, entre otros), articulación con diferentes repositorios de acceso libre indicados en Opendoar (*Directory of Open Access Repositories*) y en ROAR (*Registry of Open Access Repositories*); articulación con otras plataformas educativas como LMS, CMS, LCMS, LAMS; Involucrar más desarrollo de inteligencia artificial, para que la herramienta pueda aprender, inferir y sea cada vez más un "asistente" como tal, para recomendar, buscar, filtrar, comunicar, entre otros; Implementación y análisis dentro de un escenario de PLE que involucre diferentes recursos y estrategias.

REFERENCIAS

- [1] R. Carneiro, J. C. Toscano, and T. Díaz, Los desafíos de las TIC para el cambio educativo. Metas Educativas 2021. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI). España: Fundación Santillana, 2009.
- [2] Magisterio, "Programa Todos a Aprender, PTA," 08-Nov-2014. .
- [3] A. Pampillón, "Las plataformas e-learning para la enseñanza y el aprendizaje universitario en Internet." Universidad Complutense de Madrid, 2009.
- [4] L. Castañeda and J. Adell, Entornos Personales de Aprendizaje: claves para el ecosistema educativo en red. Alcoy: Marfil, 2013.
- [5] G. Siemens, "Connectivism: A learning theory for the digital age," International Journal of Instructional Technology and Distance Learning, vol. 2, no. 1, pp. 3–10, Jan-2005.
- [6] M. Llamas-Nistal, M. Caeiro-Rodríguez, J. González-Tato, and J. Álvarez-Osuna, "Integrating Web Services with Gadgets to Support an i-Google PLE," 2012, pp. 381–382.
- [7] C. K. N. C. K. Mohd and F. Shahbodin, "Personalized Learning Environment (PLE): Need Analysis in Malaysian's Secondary School," in e-Learning, e-Management and e-Services (IC3e), 2013 IEEE Conference on, Sarawak, 2013, pp. 79–82.
- [8] L. Moccozet, O. Benkacem, H. Platteaux, and M. Foerster, "Looking for a Platform That Can Be Proposed to Students as a PLE Enabler," 2014, pp. 498–503.
- [9] Universidade de Aveiro, "Sapo Campus na UA," Sapo Campus na UA. .
- [10] Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España, "Proyecto Dipro," 2009. .
- [11] Eduteka and FGPU, "CURRÍCULO INTERACTIVO 2.0 PARA EL ÁREA DE INFORMÁTICA," Modelo Curricular Interactivo, 01-Jun-2008. .
- [12] S. M. Castro, C. A. Clarenc, C. López de Lenz, M. E. Moreno, and N. B. Tosco, ANALIZAMOS 19 PLATAFORMAS DE E-LEARNING, 2013th ed. 2013.
- [13] S. Ninoriya, P. M. Chawan, B. B. Meshram, and M. VJTI, "CMS, LMS and LCMS For eLearning," IJCSI Int. J. Comput. Sci. Issues, vol. 8, no. 2, pp. 644–647, 2011.
- [14] Macquarie University, "LAMS," LAMS Foundation, 2015-2002. .
- [15] Open Universiteit Nederland, "CopperCore," Nov-2008. .
- [16] Relpe, "Herramientas Educativas," Red Latinoamericana portales educativos, 23-Feb-2015. .
- [17] T. Gibelli, La investigación basada en diseño para el estudio de una innovación en educación superior que promueve la autorregulación del aprendizaje utilizando TIC. Madrid: FIECC, 2009.
- [18] Allen Interactions Inc, "Agile eLearning Development with SAM | Allen Interactions," 2015. [Online]. Available: <http://www.alleninteractions.com/sam-process>. [Accessed: 13-Dec-2015].
- [19] G. A. Moreno López, "Curación de contenido y panel de recuperación," Aprendizaje everywhere, 30-Jun-2015. .

Análisis de Factores que afectan la Caracterización de las Propiedades del Carbón*

Analysis of Influential Factors in Coal Properties Characterization

DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.12>

Artículo de Investigación Científica - Fecha de Recepción: 27 de Agosto de 2015 - Fecha de Aceptación: 18 de Diciembre de 2015

Natalia Cifuentes Baquero

Ingeniero Industrial. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá (Colombia).
natalia.cifuentes@mail.escuelaing.edu.co

Diana Carolina Franco Sánchez

Ingeniero Industrial. Universidad. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá (Colombia).
diana.franco-s@mail.escuelaing.edu.co

Andrés Meleg Ruttkay

M.Sc en Diseño de Máquinas. Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá (Colombia).
andresmeleg@gmail.com

Para citar este artículo / To reference this paper:

N. Cifuentes Baquero, D. C. Franco Sánchez y A. Meleg Ruttkay, "Análisis de factores que afectan la caracterización de las propiedades del carbón", *INGE CUC*, vol. 12, no. 1, pp. 107-119, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.12>

Resumen--En este trabajo se estudia el problema relacionado con la variación de las propiedades del carbón bituminoso, utilizado en una planta de energía eléctrica colombiana. La estrategia implementada fue la metodología de diseño de experimentos (DOE) para encontrar las causas de estas variaciones, cambiando las condiciones de almacenamiento, afectadas por el clima y las diferentes formas de manejo de muestras. El estudio contempla el diseño, desarrollo y análisis de tres experimentos con el fin de identificar la influencia de parámetros como el tiempo y utilización del carbón almacenado, el clima antes del consumo y algunos procedimientos de muestreo y de esta forma explicar la divergencia entre las propiedades del carbón medidas en el patio y durante la trituración justo antes de ser quemado. Los resultados mostraron que el tiempo de almacenamiento en el patio y el desempeño del sistema automático de muestreo son la causa principal del problema.

Palabras Claves-- Carbón Bituminoso; Poder Calorífico; Análisis Último; Muestreo de Carbón; Generación de Energía; Análisis de Datos.

Abstract-- This paper studies the problem related to the variation of measured properties of a bituminous coal, fired in a Colombian electric power plant. The strategy was to implement a DOE methodology to find the causes of these variations, changing the storage conditions and relating it to the weather and different ways of handling the samples. The study contemplates the design, deployment and analysis of three experiments in order to trace the influence of such parameters as time and deplete of storage, weather evolution prior to consumption and some sampling procedures and in this way explain the divergence of coal properties between the reception in the yards and its medium grinding just before firing. The results had shown that stocking time in yards and the automatic system's performance, as the main cause of the problem.

Keywords-- Bituminous Coal; Heating Value; Ultimate Analysis; Coal Sampling; Power Generation; Data Analysis.

* Artículo de investigación científica derivado del proyecto de investigación titulado: "Diseño de experimentos aplicado al muestreo de carbón utilizado en la producción de energía eléctrica.". Financiado por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y la Compañía Eléctrica de Sochagota (CES). Fecha de inicio: enero de 2014. Fecha de finalización: junio de 2015.



I. INTRODUCCIÓN

En el negocio de producción de energía eléctrica la generación térmica se ha ido posicionando como la principal alternativa para garantizar la demanda energética de un entorno. En Colombia las centrales termoeléctricas han ido incrementando su capacidad y por ende sus procesos internos son cada día más regulados para hacer de este un negocio rentable.

La Central Termoeléctrica objeto de estudio es una planta colombiana de generación de energía eléctrica que opera como “Stand By” y cuya producción utiliza como único combustible carbón bituminoso pulverizado [1]. El consumo mensual de material es de aproximadamente 45.000 toneladas (Ton.) y tiene una capacidad instalada de 150 MegaWatts (MW).

A petición de la Central Termoeléctrica la información correspondiente a las propiedades del carbón presentada en las tablas y gráficas de este documento fue modificada, de tal manera que se visualiza el comportamiento de las variables, sin embargo se mantiene la confidencialidad de la información suministrada.

En el cumplimiento de las metas de generación están involucrados dos factores que afectan el desempeño del proceso: la eficiencia de la caldera y la calidad del carbón utilizado. A pesar de los controles que la Central Termoeléctrica efectúa sobre la eficiencia de la caldera, cuyo valor ha sido establecido previamente y el control de la calidad del carbón comprado a los diferentes proveedores, existen inconsistencias entre la cantidad de MW que se espera generar y los MW obtenidos tras el proceso de combustión del carbón (KW-h). Los valores de la calidad del carbón son obtenidos a partir del estudio de las propiedades físicas y químicas, para lo se ejecuta un muestreo y posterior análisis de laboratorio, con el fin de verificar que el material entregado por el proveedor cumple con el porcentaje de ceniza máximo pactado (20%), además de obtener el parámetro para calcular el pago que se debe hacer al proveedor, dado que es el poder calorífico del material la principal característica para establecer la prima o sanción aplicadas para calcular el precio pagado.

La diferencia positiva existente entre las propiedades medidas en la pila de almacenamiento y posteriormente durante el consumo, resulta en un déficit económico evidenciado en los análisis financieros de la compañía. Con el fin de estudiar los factores que afectan la calidad de carbón utilizado para la generación y el desajuste en las mediciones efectuadas, se estableció un proyecto de investigación basado en el análisis de las propiedades físicas del material, que permitiera identificar las causas de dicha variación.

El enfoque del análisis se establece después de estudiar la cadena del carbón, desde que se extrae de la mina hasta que es quemado para producir energía. En este proceso se tienen en cuenta las condiciones de manejo durante las etapas de transporte y almacenamiento que puedan causar cambios en sus propiedades debido a las condiciones ambientales bajo las que es manejado [2].

Dados los escenarios de transporte y almacenamiento establecidos en la Central Termoeléctrica, en este trabajo se estudian específicamente las condiciones y procedimientos de muestreo utilizados [3], con el fin de verificar la representatividad de las muestras analizadas [4] e identificar los factores de la operación diaria que puedan alterar las propiedades medidas en el carbón.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo específico

Identificar las causas de la variación del valor del poder calorífico del carbón medido en las muestras tomadas durante la recepción, el almacenamiento y el consumo del material.

B. Objetivo específico

Desarrollar un análisis estadístico de la información suministrada por la Central Termoeléctrica que permita conocer el comportamiento de las propiedades físicas del carbón, en los diferentes escenarios de medición, para establecer las relaciones entre propiedades y como estas afectan los valores del poder calorífico del carbón en las diferentes etapas del proceso.

III. METODOLOGÍA

A. Construcción del plan experimental

Para iniciar esta investigación fue necesario estudiar el manejo del carbón dentro de la Termoeléctrica y de esta manera establecer algunos factores preliminares sobre los que era posible iniciar el estudio. Se analizaron las dos formas de muestreo desarrolladas para hacer la medición de propiedades y los procedimientos para ejecutar cada uno de ellos. Inicialmente a la llegada del carbón se mide el porcentaje de ceniza, para hacer una evaluación previa de la calidad del mismo, cuando es llevado a la pila de almacenamiento se hace un muestreo manual siguiendo los procedimientos de la norma técnica [5] y finalmente a través de un sistema de banda transportadora se recolecta una muestra con ayuda de un sistema mecánico de muestreo.

El almacenamiento del carbón en el patio se lleva a cabo por medio de dos pilas, una para el

descargue de material y la otra para el consumo. El tiempo de almacenamiento del material depende del nivel de generación y del inventario mínimo estratégico establecido por la Central Termoeléctrica.

Posterior a la definición de las características del proceso se estudian los estándares de medición de las propiedades del carbón documentados en las normas ASTM (cuyo listado completo se encuentra en la bibliografía). Durante esta revisión se comparan los procedimientos utilizados por La Termoeléctrica con los descritos en las normas técnicas, donde se determinan los métodos para la realización del análisis último del material [6]. Adicionalmente se revisa la operación de otras Termoeléctricas con el fin de encontrar algunos estudios de caso sobre la medición del poder calorífico del carbón [7] y los sistemas de almacenamiento utilizados.

La pérdida de poder calorífico del carbón es atribuida a las condiciones ambientales bajo las que se almacena el material, lo que puede causar oxidación, ganancia de humedad o pérdida de partículas [2], sin embargo el enfoque de la revisión bibliográfica fue el análisis de los procedimientos bajo los cuales se lleva a cabo la recolección de muestras [5] y las condiciones de almacenamiento en un patio de carbón. En las normas ASTM estudiadas para conocer los procesos de recolección de muestras de carbón [5] y posterior análisis de laboratorio para conocer las propiedades [8], [9], [10], [11], se examinan los procedimientos utilizados por las centrales térmicas para hacer el muestreo durante la etapa de transporte (recepción), en la pila de almacenamiento y finalmente en la línea de consumo.

Finalmente se planteó un Diseño de Experimentos (DOE) que busca relacionar el cambio en las propiedades, con factores como las características de construcción de la pila de almacenamiento, (posición del material en la pila, exposición al ambiente y las condiciones climáticas) presentadas durante la construcción, almacenamiento y consumo de la pila, las mezclas de carbón de diferentes proveedores y el número de muestras recolectadas para analizar las propiedades. Con este planteamiento se busca establecer el efecto de estos factores y diseñar un procedimiento de muestreo que considere las condiciones que significativamente afectan los resultados medidos.

En la fase inicial del DOE se definieron los objetivos y especificaciones para la realización de tres pruebas preliminares que consideraban procedimientos de muestreo especiales con el fin de evaluar el efecto de las condiciones ambientales y de almacenamiento en los resultados obtenidos. Las condiciones evaluadas en esta fase fueron: trituration del material para el paso hacia la caldera, posición del carbón en la pila de almacenamiento (compactación) y el análisis de material proveniente de un único proveedor.

La primera prueba planteada buscaba encontrar posibles diferencias para una cantidad base de 16 toneladas, entre las muestras tomadas en el patio y las tomadas en la banda, con una diferencia temporal menor a una hora. Adicionalmente se garantizó que el único material a través de la banda correspondía a la cantidad de material mencionada. En los dos escenarios se tomaron muestras de 8 Kg que posteriormente fueron preparadas y analizadas siguiendo los mismos procedimientos [12].

En la segunda prueba se compararon los valores de poder calorífico medidos en el patio y en la línea de consumo, sobre una pila de 45.000 t, a la que además se le tomaron muestras a tres alturas diferentes para evaluar el efecto de la compactación. Las muestras tomadas correspondían a tres puntos de la pila (alto, medio, bajo) y fueron tomadas en 7 fechas específicas, con lo cual se obtuvieron 21 análisis midiendo condiciones especiales.

Finalmente en la tercera prueba, con el fin de evaluar el efecto de las condiciones climáticas, el envejecimiento del material (tiempo de almacenamiento) y las mezclas de carbón de varios proveedores, se solicitó construir una pila de 1500 t provenientes de un único proveedor, construida y almacenada a condiciones ambientales conocidas (temperatura, lluvia y velocidad del viento) y para la que se tomaron muestras siguiendo el mismo patrón de la primera prueba con el fin de validar los resultados obtenidos en esta.

Estas pruebas fueron ejecutadas por la Central Termoeléctrica en sus propios laboratorios, proporcionando todos los recursos físicos para garantizar las condiciones especiales propuestas en la recolección de muestras y los estándares utilizados en los procedimientos de análisis.

Los resultados obtenidos en los análisis consideran el efecto de la humedad en las demás propiedades medidas para el carbón por lo cual se genera el reporte en base como se recibe, como se analiza y base seca, esta última luego de someter el material a un proceso de secado para eliminar la humedad superficial (ver Figura 1). Para el análisis de datos, en este trabajo se toman los resultados en base seca, lo que permite tener en cuenta la correlación existente entre el poder calorífico y el porcentaje de ceniza del material.

B. Análisis de información

Para realizar el análisis de información fue necesario considerar diferentes escenarios para la recolección de la muestra, los tiempos de almacenamiento de las muestras y la base de referencia para expresar los resultados de la caracterización del carbón. Cada una de estas condiciones genera cambios en las comparaciones planteadas entre los experimentos. Para ejecutar los análisis estadísticos y comparaciones pertinentes, fue necesario realizar unificación de los criterios antes mencionados.

Sobre el carbón, una vez dentro de la Central Termoelectrica y antes de ser consumido, se ejecutan pruebas a la entrada de los camiones, en la pila para condiciones especiales de análisis y en la línea de alimentación previa al consumo.

El almacenamiento de muestras se hace a aquellas que son recolectadas en los camiones hasta completar muestras que representan 500 t de material recibido. Este almacenamiento se lleva a cabo garantizando que no existe pérdida de humedad en el tiempo que transcurre entre la recolección de la muestra y la preparación de la misma para ser analizada, este tiempo es aleatorio de acuerdo a la frecuencia y cantidad recibida de material. Para efectos de análisis se asume que no existe pérdida de humedad y se realizan las comparaciones con el porcentaje de humedad total encontrado en la muestra, es decir la humedad superficial del material que gana o pierde por condiciones de temperatura y clima y la humedad residual del material.

La base en la que la Central Termoelectrica unificó el reporte de la información fue “como se recibe”, sin embargo estos datos fueron convertidos a base seca de acuerdo a la norma ASTM [13], dada la importancia de estudiar la correlación entre la ceniza y el poder calorífico del material, la cual no es visible cuando el análisis estadístico de la información se ejecuta con información reportada en base como se recibe.

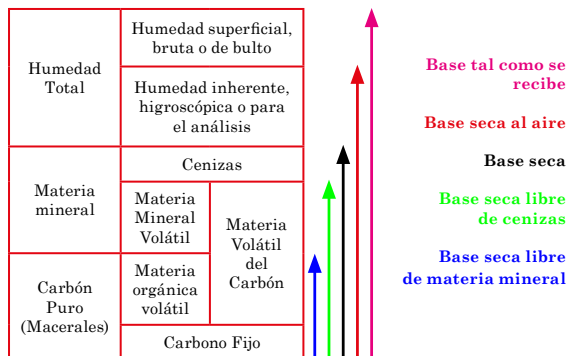


Figura 1. Base de referencia de resultados para la caracterización de carbón. Fuente: [14].

REALIZACIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

A. Experimento D 1.1 Plan de muestreo preliminar

Análisis de la variación de propiedades entre los escenarios de medición. El experimento D1.1 busca encontrar la relación entre las propiedades medidas en una muestra tomada en la pila y una muestra tomada durante el consumo. Las condiciones especiales para la recolección de estas muestras es la continuidad con la que son

recolectadas en los diferentes escenarios y la evaluación sobre una porción específica de carbón. El procedimiento para la realización de esta prueba fue retirar 16 toneladas de material de una pila existente y recolectar las muestras según el procedimiento que describe la norma [5]. Esta cantidad de carbón se deposita en el sistema de alimentación del proceso, una vez se ha retirado de la línea de abastecimiento cualquier otro tipo de carbón. Posteriormente se realiza el muestreo en la banda que transporta el carbón a la caldera para establecer una comparación entre las propiedades medidas en los dos escenarios.

Considerando las condiciones especiales para la realización de la prueba, muestra segmentada y aislada de cualquier otro carbón, se espera encontrar resultados idénticos para las propiedades analizadas en las muestras recolectadas tanto en el patio de carbón como en el consumo posterior al proceso de trituración del material.

La información obtenida en esta prueba indica que el poder calorífico, el porcentaje de humedad y la ceniza del carbón presentan un mejor resultado cuando se analizan las muestras tomadas en banda, mientras que el porcentaje de azufre y volátiles presenta un mejor comportamiento para las muestras recolectadas en la pila.

Sin embargo, siendo el poder calorífico la propiedad de mayor interés en este estudio, se considera relevante el hallazgo de este experimento inicial y se inicia un análisis de muestras suficientemente amplio para determinar si el comportamiento es constante, dado que es justamente este resultado el que contradice la hipótesis inicial de la investigación, relacionada con la disminución del poder calorífico obtenido en el proceso de generación con respecto al valor medido en las muestras recolectadas durante el proceso de construcción de la pila.

Los resultados reportados en la tabla I muestran diferencias porcentuales y además positivas entre las propiedades medidas en las muestras tomadas durante el proceso de consumo y las muestras recolectadas en la pila. Dado la cantidad reducida de muestras con las que se cuenta para esta prueba, se concluye que: se observa variación entre el poder calorífico, el porcentaje de ceniza y el porcentaje de humedad, que indica que el carbón muestreado en la banda posee mejores propiedades que el que se muestrea en la pila, en cualquiera de las bases en las que son reportados los resultados como se muestra en la Fig. 1, la Fig. 2 y la Fig. 3.

Estos resultados se relacionan con el tamaño del carbón que se analiza, dado que si se consideran carbones finos, el poder calorífico es diferente cuando se miden tamaños de carbón mayores [2]. Esta segmentación de tamaños se genera debido al proceso de trituración que sufre el carbón antes de ser muestreado por medio del sistema mecánico instalado en la banda que lo transporta.

TABLA I. RESULTADOS OBTENIDOS DEL EXPERIMENTO D1.1

Reporte Muestras Experimento D1.1							
D1.1 CONSUMO				D1.1 PILA			
PARÁMETRO	AS DET.	DRY BASIS	AS RCV	PRÁMETRO	AS DET.	DRY BASIS	AS RCV
H. SUPERFICIAL	434			H. SUPERFICIAL	499		
PROMEDIO H.S	434			PROMEDIO H.S	499		
H. RESIDUAL	221			H. RESIDUAL	226		
PROMEDIO H.R	221			PROMEDIO H.R	226		
HUMEDAD TOTAL			645	HUMEDAD TOTAL			714
CENIZAS	1302			CENIZAS	1443		
PROMEDIO CENIZAS	1302	13,31	12,45	PROMEDIO CENIZAS	1443	1476	1371
VOLÁTILES	3762			VOLÁTILES	371		
PROM. VOLATILES	3762	38,47	35,99	PROM. VOLATILES	371	3796	3525
AZUFRE	133			AZUFRE	129		
PROM. AZUFRE	133	1,36	1,27	PROM. AZUFRE	129	132	123
PODER CALORÍFICO	696100			PODER CALORÍFICO	677600		
PROM.PODER CALORÍFICO	696100	711800	665900	PROM. PODER CALORÍFICO	677600	693300	643800
HIDRÓGENO			481	HIDRÓGENO			466
PODERCALORÍFICO NETO			641200	PODER CALORÍFICO NETO			619800

Fuente: Central Termoelectrica de Sochagotá.

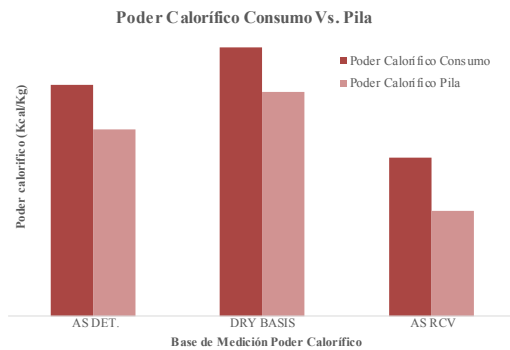


Fig. 1. Variación entre el Poder Calorífico medido en el consumo y en la pila en las diferentes bases de reporte de resultados.

Fuente: Autores.

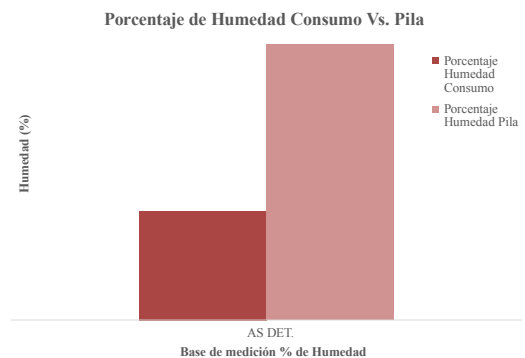


Fig. 3. Variación entre el Porcentaje de Humedad medido en el consumo y en la pila en las diferentes bases de reporte de resultados.

Fuente: Autores.

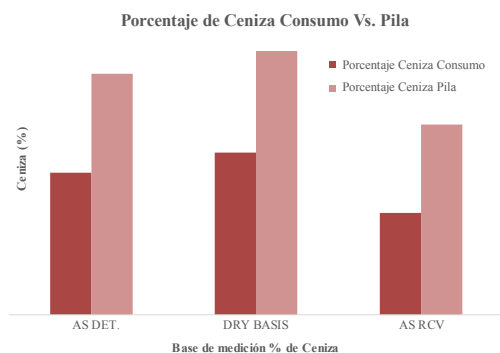


Fig. 2. Variación entre el Porcentaje de Ceniza medido en el consumo y en la pila en las diferentes bases de reporte de resultados.

Fuente: Autores.

B. Experimento D 1.2 plan de muestreo preliminar

Análisis pila de 45.000 toneladas y pruebas de compactación.

Descripción. La segunda prueba tiene como objetivo identificar los cambios en las propiedades medidas para las muestras de carbón recolectadas en el patio a diferentes niveles de compactación, exposición al ambiente y envejecimiento temporal. Para esta prueba se hace uso de una pila construida en la operación diaria de la Central Termoelectrica de la cual no se conocen sus condiciones de apilamiento, dado que estaba construida cuando se inició esta investigación.

Plan de consumo y muestreo. Dada la cantidad de carbón almacenada en esta pila (cerca de 45.000 t. métricas) se hace una sectorización teórica de la misma Fig.2 para analizar el efecto de las condiciones ambientales sobre las propiedades del material, de acuerdo a la posición de donde es extraída la muestra, es decir en la que fue almacenada durante la construcción y consumo. Las posiciones evaluadas son definidas como compactación Alta, Media y Baja y el plan de muestreo dentro de la pila consiste en retirar el carbón de cada nivel de compactación y separarlo. Dada la sección transversal de la pila en la que se almacena el carbón y el efecto del ambiente sobre el área de la pila con mayor exposición se propone tomar las muestras teniendo una pared lo más vertical posible (80° aprox.), para que los resultados no se vean afectados por las condiciones de temperatura y viento que afectan la superficie de la pila.

Luego de hacer la recolección de las muestras en la pila, el carbón es suministrado en el sistema de alimentación de la caldera donde se hace la recolección de muestras de consumo que son llevadas al laboratorio para ser preparadas y analizadas.

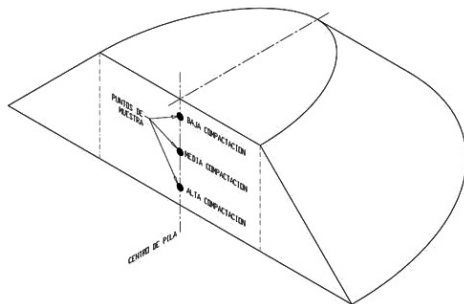


Figura 2. Consideraciones espaciales para la toma de muestras y el consumo de la pila.
Fuente: Autores.

Presentación de resultados. El análisis de los datos obtenidos de esta pila de carbón se divide en diferentes escenarios dado el tamaño de la pila (aproximadamente 7 metros de altura en la parte central) y la información que se extrae de las propiedades del mismo durante los diferentes procesos dentro de la Central Termoeléctrica: se recopila información de las propiedades del material durante la construcción de la pila, de acuerdo a las condiciones propuestas para esta investigación y finalmente durante el consumo.

Resultados de construcción, datos recolectados durante la consolidación de la pila. En primera instancia se tomó la información de construcción de la pila para hacer un análisis de relación entre las siguientes propiedades:

- Poder Calorífico
- Porcentaje de Material volátil
- Porcentaje de Azufre
- Porcentaje de Humedad
- Porcentaje de Ceniza

Utilizando un análisis de regresión múltiple se obtiene que las propiedades que tienen correlación con el poder calorífico son: el porcentaje de humedad y el porcentaje de ceniza. La Fig. 4 representa el diagrama de correlación entre las propiedades del carbón, donde se puede evidenciar el comportamiento de cada una de las combinaciones de propiedades.

Correlación entre las propiedades del carbón medidas en la pila

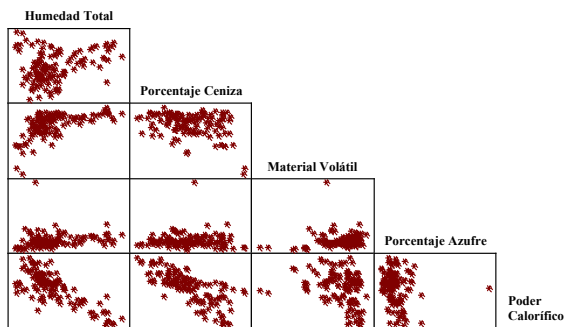


Fig. 4. Matriz de correlación de las propiedades del carbón medidas en la pila de almacenamiento.
Fuente: Autores.

La relación lineal entre el porcentaje de ceniza, el porcentaje de humedad y el poder calorífico se analiza a partir de los valores estadísticos P valor ($<0,05$) y correlación de Pearson ($>0,07$) mostrados en la tabla II, estos valores indican que dicha relación es significativa y por lo tanto el poder calorífico se ve afectado ante el cambio en el contenido de humedad y ceniza del carbón. Para las demás propiedades se encuentra un valor P mayor a 0,05 y en los casos donde este estadístico es menor, el coeficiente de correlación de Pearson es menor que 70%, de tal modo que las propiedades sobre las que se enfatiza el análisis son la humedad y la ceniza.

Resultados de consumo, datos recolectados para las muestras tomadas por el sistema mecánico de muestreo en la banda transportadora que alimenta la caldera. Los resultados de las muestras recolectadas durante el consumo de las 45.000 t otorgan información sobre las propiedades del carbón mencionadas en el análisis anterior. Para la revisión de información se cuenta con un total de 50 informes de laboratorio donde inicialmente se busca definir gráfica y estadísticamente el comportamiento de las propiedades frente al poder calorífico que permita establecer una comparación con los hallazgos definidos con la información recolectada durante la construcción.

En la matriz de la fig. 5 se evidencia la correlación entre las combinaciones de variables, considerando la misma escala del gráfico de la información correspondiente a la construcción, con el objetivo de hacer de estas ilustraciones puntos de referencia comparables entre sí.

TABLA II. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES DEL CARBÓN VS. PODER CALORÍFICO MEDIDOS EN PILA

Correlación entre Porcentaje de Ceniza, Humedad, Volátiles y Azufre vs. Poder Calorífico medidos en pila				
	Porcentaje Humedad	Porcentaje Ceniza	Material Volátil	Porcentaje Azufre
Porcentaje Ceniza	0.267			
	0.003			
Material Volátil	0.569	-0.385		
	0.000	0.006		
Porcentaje Azufre	0.192	0.370	0.240	
	0.034	0.008	0.094	
Poder Calorífico	-0.785	-0.752	-0.287	-0.159
	0.000	0.000	0.001	0.080
<i>Correlación de Pearson</i>				
<i>P Valor</i>				

Fuente: Autores.

Correlación de las propiedades del carbón medidas en el consumo

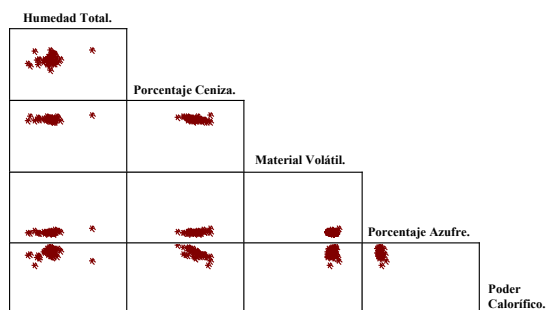


Fig. 5. Matriz de correlación de las propiedades del carbón medidas en el consumo.

Fuente: Autores.

Los datos recolectados durante el consumo están agrupados en rangos de variación menor para todas las propiedades medidas, con respecto a los rangos de la información obtenida para las muestras de la construcción, bajo la salvedad que se tiene un menor número de muestras en esta etapa del proceso por la frecuencia con que se tomaron y analizaron las muestras.

Como se evidencia en la tabla III y bajo las condiciones de análisis planteadas para las muestras tomadas en la pila, se observa según la matriz de correlación y los estadísticos de prueba que la única propiedad que presenta relación con el poder calorífico es el porcentaje de ceniza. A diferencia del análisis de los datos de la pila no se observa relación entre el porcentaje de humedad y el poder calorífico medido.

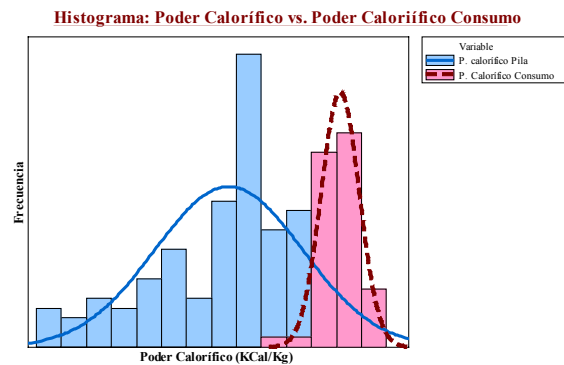
TABLA III. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE PROPIEDADES DEL CARBÓN VS. PODER CALORÍFICO MEDIDOS EN EL CONSUMO.

Correlación entre Porcentaje de Ceniza, Humedad, Volátiles y Azufre vs. Poder Calorífico medidos en pila				
	Porcentaje Humedad	Porcentaje Ceniza	Material Volátil	Porcentaje Azufre
Porcentaje Ceniza	0.348			
	0.013			
Material Volátil	0.174	-0.385		
	0.226	0.006		
Porcentaje Azufre	0.524	0.370	0.240	
	0.000	0.008	0.094	
Poder Calorífico	0.066	-0.741	0.103	-0.312
	0.650	0.000	0.476	0.028
<i>Correlación de Pearson</i>				
<i>P Valor</i>				

Fuente: Autores.

Comparación de resultados de construcción y resultados de consumo. Una vez identificado el comportamiento independiente de las muestras tomadas durante la construcción y durante el consumo, es necesario establecer una comparación para definir el estado de los resultados de las pruebas frente a la hipótesis inicial de la investigación (el poder calorífico medido en la pila es mejor que el poder calorífico medido en la banda).

Para revisar esta afirmación frente a los datos recolectados se elabora un histograma para dos poblaciones que permite visualizar el comportamiento de la media y la variación de cada una de las poblaciones (Fig. 6)



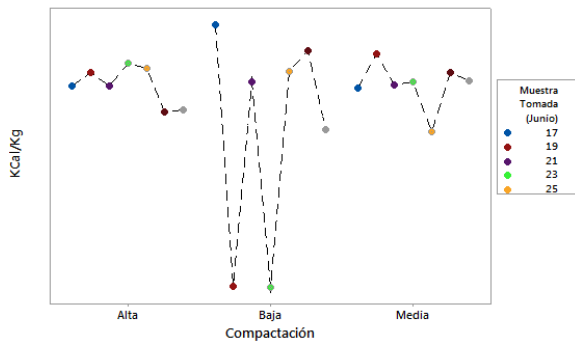
En promedio para los datos de consumo se obtiene un poder calorífico de 716.500 Kcal/Kg con una desviación estándar de 7.641 Kcal/Kg, mientras que para los datos de la pila se tiene un poder calorífico promedio de 671.900 Kcal/Kg con una desviación estándar de 295.700. De esta información se infiere que el desempeño (poder calorífico) es mejor en las mediciones realizadas durante el consumo que en el registro de la construcción, haciendo la comparación de los valores promedios y la desviación estándar, lo cual contradice la hipótesis inicial objeto de investigación.

Es necesario resaltar que se tiene variación en el tamaño de la muestra de las dos poblaciones, siendo 122 datos para la construcción y 50 para el consumo; sin embargo, resulta inquietante el comportamiento de los datos de consumo, ya que aunque están representados por un número de datos inferior son un muestreo representativo de la pila de carbón pero el comportamiento evidenciado en la Fig. 6 muestra dos poblaciones diferentes con media y desviación estándar particulares.

Resultados de factores propuestos (compactación, exposición y envejecimiento). Finalmente, se desea encontrar la relación del poder calorífico con factores definidos de forma estratégica, que se consideraron como posibles incidentes en las mediciones realizadas. Para esto durante el almacenamiento y previo al consumo se tomaron incrementos en la pila que

fueron analizados según su localización y tiempo de exposición.

Relación Poder Calorífico vs. Nivel de Compactación (Pila)



Según la zona de consumo del carbón dentro de la pila y los días transcurridos desde el inicio del experimento se logra observar que no existe una relación definida entre los factores compactación, envejecimiento y exposición al ambiente con el poder calorífico. Sin embargo, es de resaltar que el efecto por envejecimiento no se pudo definir con claridad debido a falta de información en cuanto a la secuencia de construcción de la pila.

El poder calorífico de mayor valor se obtuvo en condiciones de compactación baja, alta exposición al ambiente y primera fecha de consumo. En compactación baja también se encontraron los datos con el más bajo desempeño (poder calorífico) y la mayor variación en las mediciones.

C. Experimento D 1.2 plan de muestreo preliminar

Construcción Pila de 1500 t de carbón proveniente de un único proveedor.

Descripción. Con el objetivo de identificar la incidencia de las condiciones ambientales (*exposición al ambiente*) y tiempo de almacenamiento (*envejecimiento*) del carbón en el patio, se construyó una pila de carbón con 1500 t de material proveniente de un único proveedor de la Central Termoeléctrica lo que permitió eliminar el efecto de la mezcla de carbón de diferentes proveedores sobre las variaciones presentada en la medición de propiedades. Dado que la construcción se realizó en pocos días se podría esperar que su origen fuera de una única mina y/o veta, esto sin embargo no se pudo comprobar.

Construcción, plan de consumo y muestreo. La construcción de la pila tuvo una duración de 8 días donde se muestreó cada camión con el fin de conocer las propiedades del material recibido, posteriormente esta pila fue almacenada durante 20 días bajo condiciones ambientales conocidas y se inició el

plan de consumo parcial (300 t cada 15 días), permitiendo que una porción del material de la pila permaneciera almacenado durante períodos de tiempo controlados.

Para cada fecha de consumo se recolectó una muestra de las 300 t retiradas de la pila, adicionalmente esta cantidad de carbón fue dividida en porciones de 100 t a cada una de las cuales se les tomó una muestra con el fin de comparar los resultados obtenidos en las muestras de 100 t contra los resultados de la muestra general y de esta forma evaluar la representatividad de la misma. Cuando se finaliza la toma de muestras en la pila el carbón es enviado a la línea de alimentación una vez las tolvas y la banda han sido despejadas para garantizar que las muestras recolectadas durante el consumo no presentan mezclas de material que puedan sesgar los resultados a evaluar. Allí se programa el sistema mecánico de muestreo para tomar incrementos de las primeras 100 t que suben por la banda, este procedimiento se repite cada 100 t hasta completar el proceso. Para obtener la muestra general del proceso de consumo y poder evaluar el efecto de los promedios en los resultados medidos se mezclan 2 kilos de cada una de las tres bolsas tomadas en la banda para formar la muestra general de las 300 t.

La recolección inmediata de las muestras en los dos escenarios se usó para descartar la variación encontrada entre las propiedades medidas en la pila y las propiedades medidas previo al consumo, por el efecto del tiempo transcurrido entre la toma de muestras en cada etapa. El procedimiento descrito anteriormente para la recolección de muestras en la pila y durante el consumo fue ejecutado para cada 300 t en 5 fechas programadas.

Presentación de resultados. Los resultados obtenidos en este experimento se presentan divididos en dos grupos: los de la pila y los del consumo. Esta información se divide en cuatro tablas correspondientes a cada una de las fechas programadas para la ejecución de la prueba. Las pruebas denominadas como 1 (tomada el 12 de Septiembre), 2 (tomada el 26 de Septiembre), 3 (tomada el 10 de Octubre) y 5 (tomada el 19 de Noviembre), se analizan en las Fig. 8 a Fig. 15, donde se excluye la prueba número 4 que no fue posible realizar.

Resultados de construcción. Las muestras recolectadas en los camiones se almacenan hasta completar 500 t de material recibido, posteriormente las

muestras tomadas en los camiones que conformaron esta cantidad son mezcladas para obtener una sola muestra. En los resultados suministrados se encuentran 4 mediciones correspondientes a 47 camiones y cada una de estas representa una cantidad de carbón diferente a las 500 t del procedimiento establecido, por esta razón y la cantidad reducida de información los resultados obtenidos para estas muestras no permiten realizar ningún tipo de análisis.

Comparación resultados obtenidos en la pila y en el consumo. De esta forma el primer análisis realizado corresponde a una comparación entre los resultados de poder calorífico y el porcentaje de ceniza obtenidos en las muestras recolectadas en la pila y las muestras recolectadas en el consumo, esta comparación devela una variación significativa entre los valores de poder calorífico medidos en los dos escenarios, a pesar de ser una muestra selecta de material y haber tenido un tratamiento especial durante la recolección. La diferencia entre el poder calorífico medido en el consumo y en la pila es positiva, lo que nuevamente contradice la hipótesis inicial con la que se inició la investigación.

A continuación se presentan la comparación del poder calorífico medido en la pila y en los consumos correspondientes a las pruebas programadas cada 15 días, las Fig. 8 y Fig. 9 representan una correlación entre el porcentaje de ceniza y el poder calorífico medido para los dos escenarios de medición en la primera prueba programada. Así mismo las Fig. 10 y 11 representan los resultados de la prueba número 2.

Prueba 1

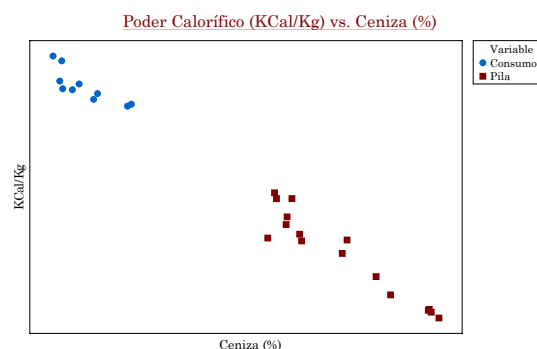


Fig. 8. Diagrama de correlación poder calorífico vs. ceniza. Fuente: Autores.

TABLA IV. PROPIEDADES MEDIDAS EN LAS MUESTRAS RECOLECTADAS EN LOS CAMIONES.

Peso Representado Kg	Humedad Total %	Cenizas %	Materia Volátil %	Azufre %	Poder Calorífico Neto Kcal/Kg
376.000	619	1957,14743	3529,47447	106,598444	633.621,1491
532.000	537	1275,49403	3848,67378	126,80968	694.923,3858
198.000	531	1812,22938	3704,72067	117,224628	647.615,3765
526.000	525	1434,30079	3767,81003	116,094987	678.738,7863

Fuente: Autores.

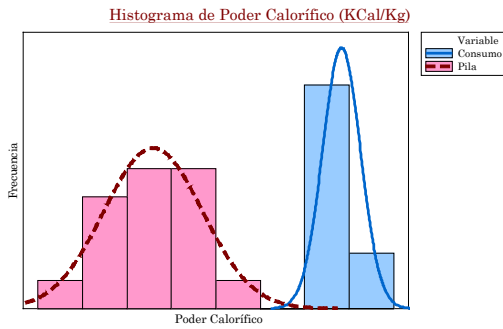


Fig. 9. Histograma de Poder Calorífico prueba 1.
Fuente: Autores.

Prueba 2

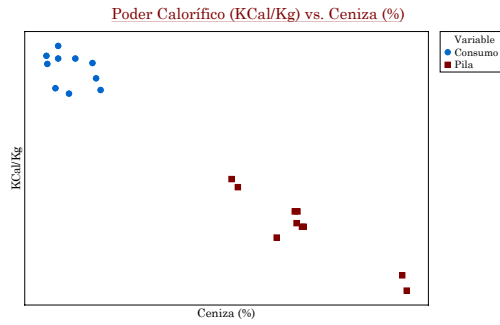


Fig. 10. Diagrama de correlación poder calorífico vs. ceniza.
Fuente: Autores.

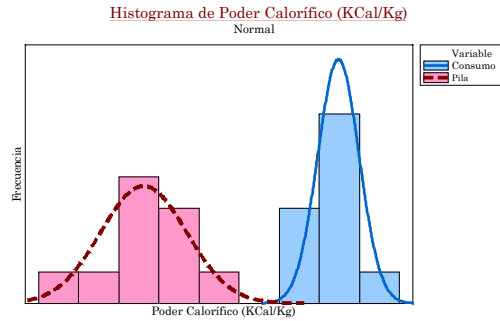


Fig. 11. Histograma de Poder Calorífico prueba 2.
Fuente: Autores.

Prueba 3

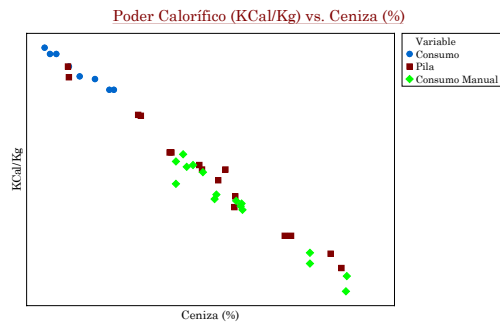


Fig. 12. Diagrama de correlación poder calorífico vs. ceniza.
Fuente: Autores.

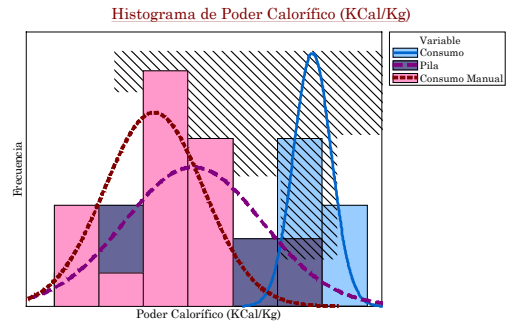


Fig. 13. Histograma de Poder Calorífico prueba 3.
Fuente: Autores.

Prueba 5

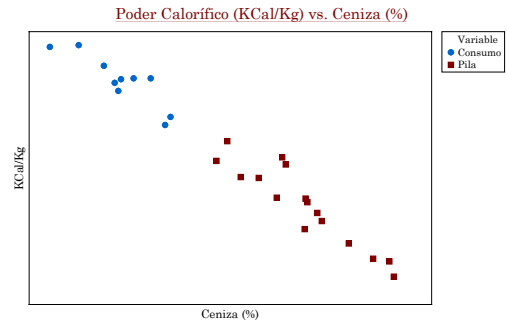


Fig. 14. Diagrama de correlación poder calorífico vs. ceniza.
Fuente: Autores.

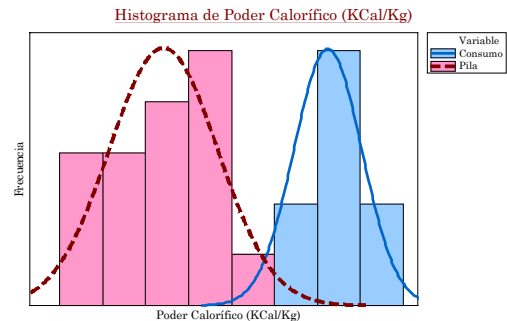


Fig. 15. Histograma de poder calorífico prueba 5.
Fuente: Autores.

Dados el control sobre la consecución y el control en los procedimientos realizados con las 1500 t de carbón, se esperaría que este análisis indique valores confiables para determinar la variación existente entre las propiedades medidas en el camión, la pila y el consumo. Sin embargo, las gráficas muestran el comportamiento del poder calorífico cuando es medido en la pila y en la banda como dos conjuntos de datos segmentados sin ninguna relación, lo que genera preocupación cuando se tiene una muestra que teóricamente es la misma y no existe un factor evidente que afecte el valor del poder calorífico, del porcentaje de humedad y del porcentaje de ceniza.

Es de especial interés la información que muestra la Fig. 12 y la Fig. 13, donde se hace la comparación para la “Prueba 3” de los valores obtenidos en la pila y durante el consumo, puesto que por iniciativa de la Central Termoelectrónica para esta prueba se generaron muestras durante el consumo utilizando otra metodología, que consistió en operar el tomador de muestras de la línea de alimentación de forma manual y no programada como normalmente se lleva a cabo. Finalmente la prueba 5 permite observar segregación de los datos como lo muestran la 14 y 15 que corresponden a la correlación de ceniza y poder calorífico y a un histograma del poder calorífico respectivamente.

La evaluación del efecto de las condiciones ambientales sobre el comportamiento de las propiedades se determina en las Fig. 16 a Fig. 21, en las cuales se comparan los valores obtenidos para las propiedades de poder calorífico, ceniza y humedad en cada una de las pruebas hechas para la pila y el consumo respectivamente. En estas gráficas se muestra que el efecto del clima es evidente cuando se compara el porcentaje de humedad en cada una de las pruebas.

Porcentaje de humedad

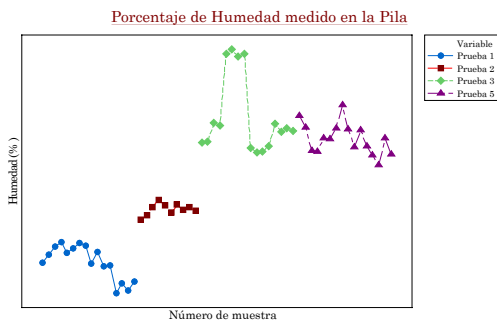


Fig. 16. Porcentaje de Humedad medido en la pila.
Fuente: Autores.

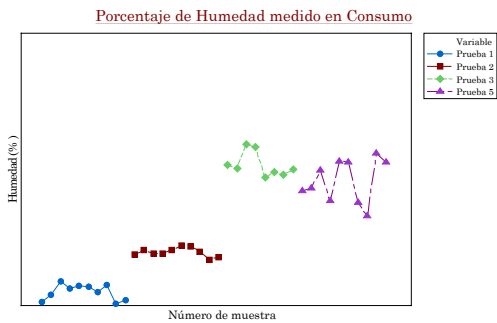


Fig. 17. Porcentaje de Humedad medido en el consumo.
Fuente: Autores.

Porcentaje de ceniza

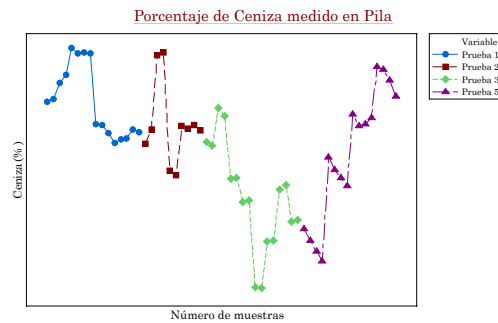


Fig. 18. Porcentaje de Ceniza medido en Pila.
Fuente: Autores.

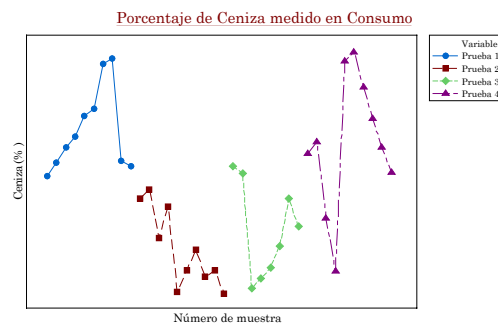


Fig. 19. Porcentaje de Ceniza medido en consumo.
Fuente: Autores.

Poder calorífico

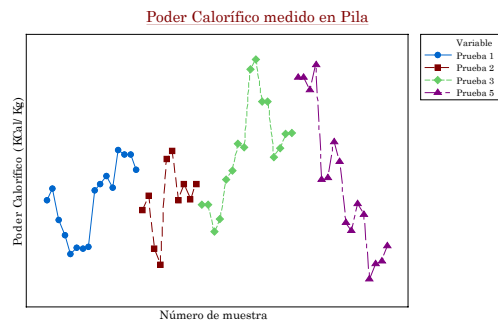


Fig. 20. Poder Calorífico medido en Pila.
Fuente: Autores.

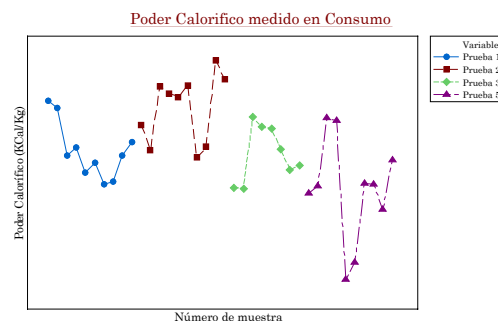


Fig. 21. Poder Calorífico medido en consumo.
Fuente: Autores.

El comportamiento de las propiedades medidas cuando el envejecimiento del material estudiado aumenta, no es claro por lo cual se muestran los valores promedio de lluvia registrados durante el almacenamiento del carbón que fue consumido en cada una de las pruebas.

En la Tabla V se evidencia que el promedio de lluvias presentó variaciones considerables durante el tiempo de envejecimiento para las pruebas 2, 3 y 5, lo que responde al comportamiento de la humedad cuando se comparan las cuatro pruebas realizadas en la pila y durante el proceso de consumo. Así mismo los valores de temperatura en el periodo de envejecimiento de cada una de las pruebas no muestran variaciones de consideración que tampoco se evidencian en las gráficas. Debido a la correlación existente entre la humedad y el poder calorífico se encuentra que el poder calorífico disminuye en algunas mediciones hechas al material que fue expuesto a un envejecimiento mayor, aunque las tendencias no sean consistentes para concluir que existen pérdidas en el poder calorífico dado los aumentos presentados en la humedad.

Finalmente cuando se comparan los resultados del Poder Calorífico medido en cada una de las pruebas, tanto en la pila como en el consumo frente al poder calorífico observado en las cuatro muestras que se recolectaron y midieron durante la recepción del carbón se encuentra que estos cuatro datos abarcan el rango en el que se mueven los resultados de las muestras medidas en los dos escenarios. En la Fig. 22 se muestra la correlación entre el porcentaje de ceniza y el poder calorífico para los resultados de las pruebas 1 y dos frente a los resultados obtenidos en las muestras del camión.

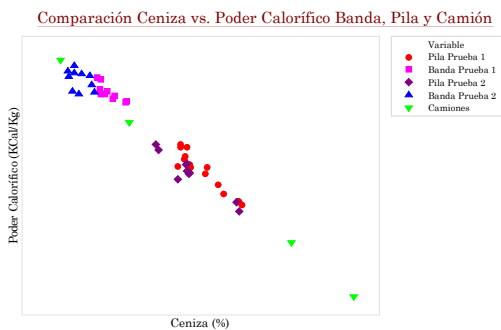


Fig. 22. Comparación porcentaje de ceniza vs. poder calorífico pila, banda y camión.
Fuente: Autores.

IV. CONCLUSIONES

En el análisis y evaluación de los resultados de las mediciones es importante tener un contexto de los diferentes métodos de presentación de resultados que sin duda alguna generan diferencias entre la información obtenida. En el caso del porcentaje de ceniza es importante conocer que la influencia de esta característica sobre el poder calorífico se presenta de forma clara cuando el material es analizado discriminando el porcentaje de humedad (Base Seca). De esta manera, para un estudio del carbón es de vital importancia establecer el mismo criterio de análisis ya que de no ser así se registran resultados sin ningún tipo de relación y que llevan a conclusiones equivocadas.

Durante el proceso de recolección de información, que incluye las etapas de muestreo en la recepción, en la pila de almacenamiento y finalmente durante el consumo, existe una situación en el muestreo que indica una brecha entre los valores de poder calorífico medidos en la pila y en el consumo, contraria a la situación inicial planteada por la Central Termoelectrica. Sin embargo en la Fig. 22 se muestra la correlación entre el porcentaje de ceniza y los valores de poder calorífico medidos en la recepción (camión), pila y consumo y se observa que las muestras del camión abarcan las mediciones de los otros dos escenarios de medición.

Los resultados encontrados en las tres pruebas planteadas y realizadas muestran el mismo comportamiento, cuando se hace la comparación entre las muestras de la pila y del consumo. Adicionalmente la relación del poder calorífico medido en la pila y durante el consumo es nula ya que los resultados se agrupan como dos segmentos de datos, aun siendo de la misma población (ver Fig. 8 a Fig. 12).

Adicionalmente es recomendable establecer procedimientos estándar para llevar a cabo los procesos de medición del carbón, debido a la aleatoriedad de los resultados medidos y posteriormente analizados. A lo largo del análisis de la información obtenida sobre el carbón se encuentra que una de las causas de esta divergencia es la naturaleza del material, el cual puede poseer diferentes características a pesar de provenir incluso de una misma mina y de una misma veta de carbón.

TABLA V. CONDICIONES DE LLUVIA Y TEMPERATURA REGISTRADAS DURANTE LOS PERIODOS DE ENVEJECIMIENTO.

Periodo de tiempo medido*	Promedio de lluvias (mm)*	Promedio Temperatura °C	Prueba afectada
09/09/2014 – 12/09/2014	0	12,560241	Prueba 1
09/09/2014 – 26/09/2014	0,11729622	12,7912525	Prueba 2
09/09/2014 – 10/10/2014	0,16090584	12,9845054	Prueba 3
09/09/2014 – 19/11/2014	0,17676487	13,2095609	Prueba 5

* Los registros de lluvia fueron suministrados por la Central Termoelectrica objeto de estudio).
* Los datos de la tabla representan los registros a partir del 09/09/2014 dada la información suministrada.

Fuente: Autores.

Lo que implica considerar una clasificación en la recepción y posterior almacenamiento de acuerdo a los porcentajes de ceniza obtenidos en la recepción.

Los procedimientos planteados para llevar a cabo el análisis experimental pretendían establecer condiciones específicas que permitieran hacer un análisis de relación entre muchas variables ante resultados no esperados, para evaluar las posibles causas de dichos comportamientos en el carbón. Al no llevar a cabo todos los procedimientos solicitados desde el inicio, fue imposible obtener un análisis relacional robusto entre los parámetros del proceso (DOE).

Finalmente se encuentra como la causa principal de la diferencia entre los valores de las propiedades medidas, especialmente del poder calorífico, en las muestras de la pila y del consumo se debe al funcionamiento del mecanismo de medición, considerado seguro desde el planteamiento del problema. Esta diferencia se debió a un desgaste en la pieza del sistema mecánico de muestreo no detectado (el desgaste del barredor solo removía material fino de la banda). Esto empezó a ser notorio, aunque no comprendido, desde los resultados del primer experimento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASTM D 409,1983," Standard Test Method for Grindability of Coal by the Hardgrove-Machine Method", ASTM International, West Conshohocken, PA, 1983, www.astm.org.
- [2] J. Ekmann and P. LE. "Coal Storage and Transportation". Pennsylvania: U.S. Department of Energy Pittsburgh, pp. 551-579.
- [3] ASTM E 152-72, 1979,"Standard recommended practice for choice of sample size to estimate the average quality of a lot or process", ASTM International, West Conshohocken, PA, 1979, www.astm.org.
- [4] Air and Energy Engineering Research Laboratory. (1985). "Research and Development of Coal sampling and analysis: Methods and models". In EPA, Environmental Protection Agency. *Considerations of measurement error (PP 107- 120)*.Washington DC, EE.UU.
- [5] ASTM D 2234, 1976," Standard Practice for Collection of a Gross Sample of Coal", ASTM International, West Conshohocken, PA, 1976, www.astm.org.
- [6] ASTM D 3176-84, 1984,"Standard Test Method for Ultimate Analysis of Coal and Coke", ASTM International, West Conshohocken, PA,1984, www.astm.org.
- [7] L. P. Fattian and T. J. Stewart, 1986, "Quality Control in Export Coal". In The Journal of the Operational Research Society, Vol. 37, No. 11 Great Britain, 1986, pp.1073-1080.
- [8] ASTM D 3174-82, 1982,"Ash in the Analysis Sample of Coal and Coke from Coal", ASTM International, West Conshohocken, PA, 1982, www.astm.org.
- [9] ASTM D 3175- 82, 1982,"Volatil Matter in the Analysis Sample of Coal and Coke", ASTM International, West Conshohocken, PA, 1982, www.astm.org.
- [10] ASTM D 3302- 07, 2007,"Standard Test Method for Total Moisture in Coal", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, www.astm.org.
- [11] ASTM D 9725-95, 2001," Standard Test Methods for Analysis of Coal and Coke Ash", ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001, www.astm.org.
- [12] ASTM Standard D 346, 1991."Standard Practice for Collection and Preparation of Coke Samples for Laboratory Analysis", ASTM International, West Conshohocken, PA, 1991, www.astm.org.
- [13] ASTM D 3180-89, 1989,"Calculating Coal and Coke Analyses from As-Determined to different Bases", ASTM International, West Conshohocken, PA, 1989, www.astm.org.
- [14] A. Requena, *Ensayos de Caracterización del Carbón Mineral* [en línea]. Venezuela: Universidad Simón Bolívar, 2012 Disponible en: <http://es.slideshare.net/alejandrequena/ensayos-para-la-caracterizacin-del-carbon>.